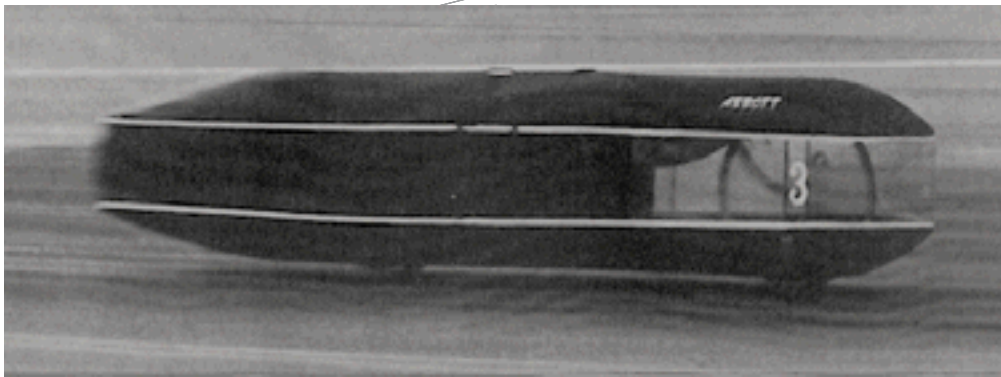


Theoriearbeit „Monotrace“ **06/05**



Vorname, Name: Tobias Wülser  
Matrikelnummer: 01-163-898  
Studiengang: Industrial Design  
Koreferent: Prof. Dr. Ralf Trachte

## VORWORT

In meiner theoretischen Arbeit möchte ich speziell im Themenfeld „Einspurfahrzeug“ recherchieren. Dabei werde ich auf diverse Eigenschaften und Kriterien dieses Fahrzeugtyps näher eingehen und diese erläutern.

Ich möchte die Vorteile der Monocoque- Kabinen- Konstruktion im Vergleich zu einer herkömmlichen Blech- Karrosserie aufzeigen. Im Bezug auf die Konstruktion sind auch das Triebwerk und die Stützvorrichtung von grosser Relevanz und unbedingt zu erwähnen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt dieser Arbeit beinhaltet das Design, die Formensprache und die Entstehung eines Einspurfahrzeuges. Auch möchte ich auf die Geschichte des Einspurfahrzeuges im Allgemeinen eingehen und diese aufzeigen. Wie ist die Idee eines solchen Gefährts entstanden, und was ist schlussendlich umgesetzt worden. Was war meine Motivation hinter dem Konzept und wie könnte ein solches Fahrzeug optimiert und verfeinert werden. Wie steht es mit dem Energieverbrauch im Vergleich zum Automobil? Welche Faktoren spielen dabei eine Rolle. Durch das minimale Gewicht und die große Motorenleistung könnte das Gefährt mit einem Ferrari gleichgesetzt werden.

Dadurch, dass der „Inline-Driver“ nur die Hälfte der Breite eines Automobils aufweist spricht die gute Aerodynamik für sich. Dies ist ein weiterer wichtiger Punkt meiner Recherchen, auf welchen ich auch in meiner Arbeit etwas genauer eingehen werde.

Sicherheit ist ein alltägliches Thema und steht auf der Lebenspyramide schon an zweiter Stelle. Sicherheit ist etwas, was der Mensch instinktiv schon von Geburt anstrebt. Somit ist sie auch in der Fahrzeugindustrie immer ein wichtiger Kritikpunkt.

Ein Fahrzeug ist vielfach auch ein Prestigeobjekt. Da gehört eine gewisse Sportlichkeit dazu.

Die gesamte Arbeit wird umschlossen durch eine Strukturierung, Einleitung, persönliche Motivation sowie ein Fazit. Der Quellen- und Bildernachweis wird am Schluss aufgeführt.

Parall zu dieser Arbeit widme ich den praktischen Teil, dem Design des bereits bestehenden „Ecomobils.“

## INHALTSVERZEICHNISS

### 1. MOTIVATIONSBERICHT

### 2. EINLEITUNG/ANFORDERUNGEN

- 2.1. Transportkapazität
- 2.2. Transportleistung
- 2.3. Sicherheitsanforderungen
- 2.4. Komfortanforderungen
- 2.5. Umweltbelastung
- 2.6. Energiebedarf
- 2.7. Transportvergleich

### 3. HIST. ENTWICKLUNG DER EINSPURFAHRZEUGE

- 3.1. Mauser- Einspurauto
- 3.2. Jan Anderlé
- 3.3. Quasar- Kabinenmotorrad
- 3.4. Messerschmitt- Kabinenroller
- 3.5. Neumann- Neander
- 3.6. Sinn oder Unsinn

### 4. KONSTRUKTION

- 4.1. Spur- und Räderanzahl
- 4.2. Kabinenstruktur
- 4.3. Triebwerk
- 4.4. Stützvorrichtung

- 4.5. Sicherheit
- 4.6. Rahmenkonstruktion
- 4.7. Zuladung
- 4.8. Massenschwerpunkt

### 5. MOTORRAD-AERODYNAMIK

- 5.1. Widerstand
- 5.2. Luftwiderstand
- 5.3. Leistung
- 5.4. Kabinenmotorräder
- 5.5. Strassenlage
- 5.6. Bewegliche Flügel
- 5.7. Fahreigenschaften und Stabilität
- 5.8. Seitenwind
- 5.9. Platzverbrauch/Luftwiderstand

### 6. AERODYNAMIK UND DESIGN

- 6.1. Tropfenform
- 6.2. Stromlinienform
- 6.3. Formentwicklung des Automobils
- 6.4. Formgebung für das Evo- Ecco

### 7. FAZIT - PERSÖNLICHE SCHLUSSFOLGERUNG

### 8. LITERATUR- UND BILDVERZEICHNIS

## 1. MOTIVATIONSBERICHT

Gleich zu Beginn möchte ich auf die Motivation eingehen, aus welcher diese Arbeit entstanden ist. Was hat mich dazu bewegt das Thema „Einspurfahrzeug zu wählen?“



Zum einen ist es die Faszination an Automobilen aller Art, zum anderen ist es die Möglichkeit einen mir bereits bekannten Prozess [Audi\_on, Stereorider] intensiver zu durchleuchten, tiefer auszuarbeiten und dabei andere Prioritäten zu setzen. Hatte im letzten Projekt der innovative Aspekt Vorrang, sah ich hier die Herausforderung ein reales Fahrzeug mit Showcar- Charakter zu erarbeiten.

Ziel ist es also Neues zu entdecken, aber bodenständig zu bleiben. Es ist mir wichtig die Diplomarbeit mit einer Firma zu durchlaufen. Ich möchte ihre Produkt-Philosophie verstehen lernen, in die Wertewelt eintauchen, Merkmale mittels markttypischem Design als Zukunftsoption visualisieren. Dies könnte eine Ausgangslage der vorliegenden Arbeit sein.

Zudem ist es mir ein Anliegen, dass das Fahrzeug, die wieder mehr in den Vordergrund gerückten Bedürfnisse des Menschen nach Freiheit und Fahrspass unterstützt.

Im Folgenden versuche ich den heutigen Stellenwert des Kabinenmotorrades zu erörtern um mögliche Trend-Richtungen zu erkennen. Zeitlich, räumlich und sozial ungebunden zu sein, sich an keinen festgelegten Ort mehr begeben zu müssen, Zeitfestlegungen ignorieren zu können und

nicht von anderen abhängig sein, allzu lästige Bindungen abstreifen können, das macht die Attraktion der individuellen Mobilität damals wie heute aus.

Was wäre aber geschehen, wenn das Motorrad von allem Anfang an ganz anders Aufgebaut gewesen wäre, wenn etwa das Fahrrad gar nicht erfunden worden wäre? Was würde ein Autokonstrukteur machen, der vom Gewicht und den Ausmassen des Vierräders die Nase voll hat. Wenn er sowohl eine hohe Leistungsfähigkeit als auch die tatsächliche Einsatzfähigkeit des Motorrades ins Auge gefasst hätte?

Er würde sich Gedanken über die Sitzposition auf seinem Gefährt machen und angesichts der erreichbaren Geschwindigkeiten einen Windschutz konstruieren, um den Fahrer vor dem Fahrtwind zu schützen. Somit sind wir vom vollverkleideten Einspurfahrzeug gar nicht mehr so weit entfernt.

Freiheit, Sportlichkeit und Fahrgefühl sind die Schlagwörter des Projektes, welche miteinander verknüpft werden sollen.

Dieses Projekt soll eine konstruktive Kritik an die momentane Verkehrssituation sein.

Somit hoffe ich einen kleinen Impuls geben zu können...



Bild 1: Audi\_ON; Gastsemester in Graz

Bild 2: Stereorieder; 7 Semester Projekt

## 2. EINLEITUNG/ANFORDERUNGEN

Ziel des Projekts „Einspurfahrzeug“ ist es, ein Transporgefährt herzustellen, welches bei gleichen oder besseren Leistungen wesentlich weniger Energie und Platz verbraucht als bisher bekannte Kraftfahrzeuge.

### 2.1. Transportkapazität

Tatsache ist, dass in über 90% der Fälle das Automobil zwei oder gar nur eine Person aufs Mal befördert. Ein wesentlicher Grund für diesen schlechten Nutzeffekt von 15% oder weniger liegt in der ungenutzten Kapazität für Insassen und Transportgut.

Aus diesen Erkenntnissen abgeleitet werden an ein Fahrzeug folgende räumliche- und gewichtsbedingte Anforderungen gestellt:

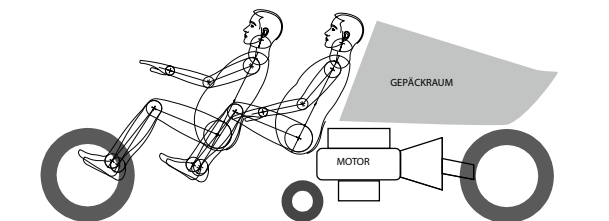


Bild 3: Sitzanordnung

1. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Programm für mehr Sicherheit im Straßenverkehr, Seite 16

- ➔ 2 Insassen bequem untergebracht.
- ➔ Gepäckraum 350 Liter

### 2.2. Transportleistung

Die Fahrleistung (Geschwindigkeit, Beschleunigung, Bremsleistung) soll derjenigen eines Sportwagens entsprechen und ein genügendes Reservepotential für Manöver im Straßenverkehr aufweisen. Die Reichweite bezogen auf das Tankvolumen soll mindestens 500 km betragen.

### 2.3. Sicherheitsanforderungen

Bei Motorrädern ist das Zusammenwirken von Mensch und Maschine erheblich komplexer als bei anderen Kraftfahrzeugen. Gründe sind unter anderem ihre Geometrie, ihr Leistungsgewicht, das Massenverhältnis von Fahrer und Kraftrad sowie die besondere Fahrphysik eines Einspurfahrzeuges.

<sup>1</sup> Aus diesen oben genannten Gründen ist das Risiko im Straßenverkehr verletzt oder sogar getötet zu werden, für Motorradbenutzer siebenmal größer als für die übrigen motorisierten Verkehrsteilnehmer. Im Gegensatz zur Verkehrssicherheit ist anzunehmen, dass die Motorradindustrie in den nächsten Jahren die Fahrleistungen der Krafträder weiter verbessern wird.

Solchen Erkenntnissen zufolge müsste das Einspurfahrzeug auf das genaueste überdacht und geplant werden. Die Fahrsicherheit sowie die Benutzerfreundlichkeit müssen wesentlich verbessert werden. Kurz gesagt soll das Motorrad „humanisiert“ werden.

Beim Einspurfahrzeug soll die aktive Sicherheit in Form einwandfreier Fahreigenschaften, als auch die passive Sicherheit bezüglich Verletzungsschutz bei Unfall gewährleistet sein.

#### 2.4. Komfortanforderungen\_\_\_\_\_

Der Reisekomfort für längere Reisen, soll bezüglich Sitz- und Bedienungskomfort, Klimatisierung (Fenster) sowie Geräuschdämpfung und Innenraumausbau demjenigen eines Mittelklassewagens entsprechen. Um diese Anforderungen erfüllen zu können müssen gewisse Kompromisse beim Kurzstreckenbetrieb, wie z.B. Einstieg und Beladungskomfort in Kauf genommen werden.

#### 2.5. Umweltbelastung\_\_\_\_\_

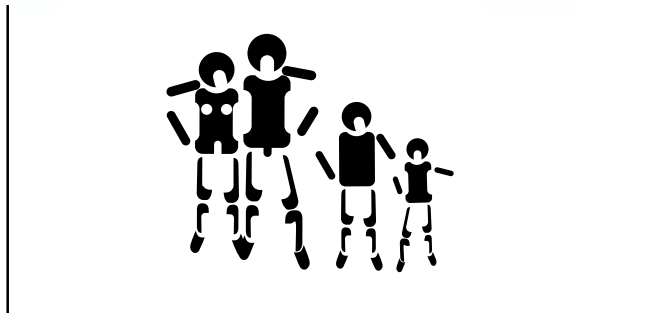
Sowohl bezüglich Abgas als auch Lärmentwicklung sollen die gesetzlichen Bestimmungen eingehalten werden. Das gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen reduzierte Volumen des Einspurfahrzeuges soll in Form eines entsprechend kleineren Platzbedarfs auf der Strasse die Verkehrsraumprobleme im Stand und in Fahrt vermindern.

Die Gestaltung des Fahrzeuges soll bei Kollision die Verletzungsgefahr anderer VerkehrsteilnehmerInnen durch geeignete Formgebung und Materialien den Möglichkeiten entsprechend reduzieren.

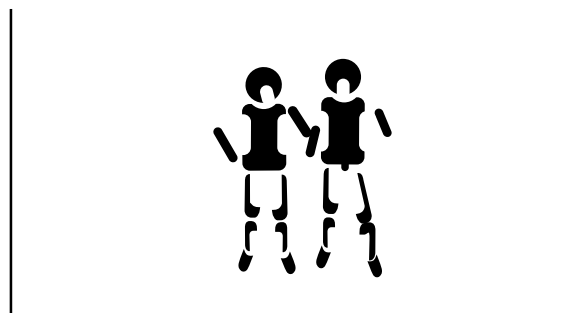
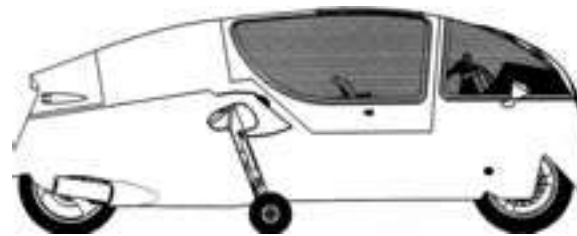
#### 2.6. Energiebedarf\_\_\_\_\_

Der Gesamtnutzeffekt soll sich gegenüber herkömmlichen Kraftfahrzeugen durch optimale Formgebung und minimales Gewicht um ca. 25% verbessern.

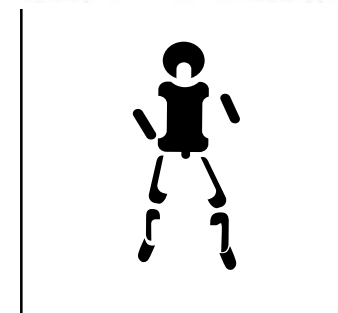
## 2.7. Transportvergleich



Transport für 4 Personen



Transport für 2 Personen



Transport für 1-2 Personen

### 3. HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER EINSPURFahrZEUGE

Welchen Weg ist die Entwicklung des Einspurfahrzeuges von Beginn an gegangen und an welchem Punkt sind wir heute angelangt? Wie sieht der Trend der Zukunft aus?

Die Herstellung eines ökonomischen Transportgerätes war eigentlich immer Zielrichtung des Kraftfahrzeugbaus. Gegenüber den Anfängen um die Jahrhundertwende sind auch erhebliche Verbesserungen bezüglich Gesamtnutzeffekt erzielt worden. Die Benzinkrise und die Überfüllung der Verkehrsräume haben in den letzten Jahren zu einer erheblichen Senkung des Durchschnittsverbrauchs und der Abmessungen von Fahrzeugen geführt. Die Verbesserungen wurden jedoch vorwiegend am Detail und nicht in der Gesamtkonzeption vorgenommen.

<sup>2</sup>Schon Rumpler und Kamm (Tropfenwagen 1896) haben durch Versuchsfahrzeuge zwischen den Weltkriegen bewiesen, dass durch aerodynamisch durchgebildete Formgebung wesentliche Fahrleistungsverbesserungen zu erreichen sind.

In den letzten Jahren sind durch Änderungen der Detailformen der Motorhaube, der Heckpartie, der Dachrinnen usw. Luftwiderstandsbeiwerte von  $C_w 0,35$  im PKW Bau nicht mehr unüblich. Eine weitere Senkung scheiterte vorläufig an der Anordnung der Raumbelastung und damit dem vorgegebenen Schlankheitsgrad, an der Radausschnitt- und -Kastengeometrie (Lenkeinschlag, Federweg, Rädern. usw.).

Auch die Gestaltung der Fahrzeugunterseite, welche vor allem aus wirtschaftlichen Gründen widerstandsmässig unbefriedigend bleibt wäre neu zu überdenken. Vom langsam laufenden Hubraumriesen zum Schnellläufer von heute hat der Motorenbau im gleichen Zeitraum eine ähnliche Verbesserung erzielt. Der Verbrennungsmotor konnte dabei trotz vielen Anläufen von keinerlei anderen Kraftquellen ersetzt werden.

Die systematische Erfassung der bekannten Fahrzeuge zum Transport von 2 Insassen plus Gepäck (gemäß 2.1.) beginnt etwa bei der Minimallösung Kleinmotorrad und endet bei derart aufwendigen Geräten wie z.B. Ferrari GTC4. Dazwischen wäre das Motorrad, der Kabinenroller, der Kleinwagen, der Sport- Zweisitzer (Roadster) usw. anzusiedeln.

<sup>2</sup>Der Forstmeisters Drais entdeckte, dass Zweiräder bzw. Einspurfahrzeuge bei größeren Fahrgeschwindigkeiten eine dynamische Eigenstabilität trotz statischer Instabilität entwickeln können. Seine Entdeckung hat vom Stützrad versehenen, unechten Daimler Motorrad bis zu den heutigen Boliden mit über 1500 cm<sup>3</sup> und mehr als 200 PS bei bis zu über 500 kg Leergewicht eine geradezu unglaubliche Entwicklung durchgemacht. Vom Transportmittel des armen Mannes - dem Moped, entwickelte sich ein vorwiegend als Freizeit Reisegerät benutztes Transportgerät sehr hoher Fahrleistung. Seine Vorteile wie geringer Platzbedarf, relativ einfacher Aufbau und hohe Leistung werden jedoch



Bild 4: Forstmaier Drais



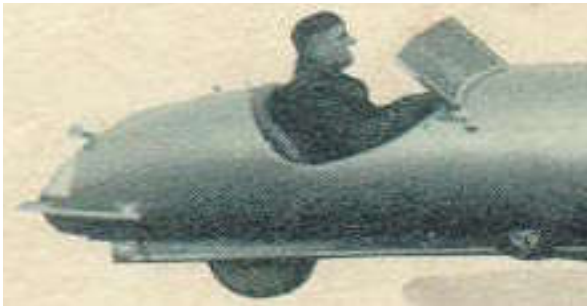


Bild 5: Jan Anderlé, „Dalnik“

Bild 6: Quasar Kabinenmotorrad

Bild 7: Messerschmitt- Kabinenroller

3. Arnold Wagner; Eccomobil in Publikation

durch mangelnden Wetterschutz, fehlenden Unfallschutz und erhöhte Lenkeranforderungen getrübt. Versuche, Kabinen Motorräder, „Einspur – Autos“ usw. zu bauen, welche die Notwendigkeit von Lederschutzkleidung, Regenkombis, Sturzhelmen und Handschuhen sowie Spezialschuhwerk und anderen Umständen eliminieren, sind unter anderem mit dem <sup>3</sup>Mauser-Einspurauto von 1924 erfolgt.

### 3.1. Mauser- Einspurauto

Dieses zweisitzige Fahrzeug wies beidseitig je ein gefeder-tes Stützrad auf, das schon bei ca. 15 Grad Neigung Boden-berührung bekam und somit als Umkippschutz diente. Das Anfahren erfolgte einseitig schräg auf einem Stützrad, bis die Stabilisierungsgeschwindigkeit erreicht und mit einem Lenkerausschlag der stabile Einspurfahrzustand hergestellt wurde. Beim Anhalten kipptel das Fahrzeug einfach auf eines der Stützräder.

### 3.2. Jan Anderlé

<sup>3</sup>Jan Anderlé baute in den Jahren 1938 bis 41 ein wei-terentwickeltes Gefährt in mehreren Stücken, welche zum Teil Frontantrieb, Tandem- Sitze oder Nebeneinandersitze, geschlossene Kabinen oder Cabriolet- Faltdächer aufwiesen. Sie unterschieden sich von den Mauser- Fahrzeugen dadurch, dass die Stützrädchen mittels Hand- oder Fußbe-tätigung angehoben werden konnten.

Daher war auch der Anfahrvorgang einfacher, und falls das Absenken versehentlich vergessen wurde, kippte das mit ca. 25 Grad Seitenneigungsfreiheit versehene Gerät lediglich zur Seite und musste vor der Weiterfahrt wieder aufgestellt werden.

### 3.3. Quasar- Kabinenmotorrad

In der Form des Quasar- Kabinenmotorrades wurde 1980 in Großbritannien ein zwar nur einsitziges, seitlich für die Fußabstützung im Stand offenes Einspurfahrzeug produ-ziert, das aber bisher noch keine große Verbreitung fand. Die Versuche von <sup>3</sup>Gustav Adolf Baumm bei NSU mit ver-kleideten Rekordzweirädern, den Baumm'schen „Zigarren“, endeten leider wegen Seitenwind und Lenkerausschlagpro-blemen mit seinem Unglückstod. Ab Mitte der Fünfzige-jahre wurde seine Erfindung während der Zweiradkriese nicht mehr weiterverfolgt. Immerhin zeigten die mit 125er und 250er Motoren ausgestatteten Maschinen, welche Rekordgeschwindigkeiten von über 200 km/h erreichten die eindrucklichen Möglichkeiten zur Verbesserung des Ge-samtnutzeffekts durch aerodynamische Durchbildung auf.

### 3.4. Messerschmitt- Kabinenroller

Der <sup>3</sup>Fend- Messerschmitt- Kabinenroller hatte als Um-steigfahrzeug vom Zwei- auf das Vierrad Ende der Fünfzi-gerjahre ohne Zweifel mit über 100 000 Exemplaren als Dreirad einen gewissen Erfolg und stellte eine gelungene Lösung für ein ökonomisches Transportgerät aus dem Stand der damaligen Technologie dar. Die dem Dreirad jedoch anhaftenden Mängel bezüglich Fahreigenschaften führten in der Schlussphase zu einem vierten Rad und zur Einbusse des Vorteils bezüglich Bauaufwand.



Bild 8: Fuldamobil

Bild 9: Goggomobil

### 3.5. Neumann- Neander\_\_\_\_\_

Neumann- Neander, Motorradkonstrukteur der Zwischenkriegszeit, baute „Kurvenleger“, Dreiradfahrzeuge, welche wie Zweiräder in die Kurve gelegt werden konnten und nach dem Einspurprinzip in Fahrt stabilisiert wurden.

Als weitere unter vielen Zwischenstufen sind Isetta, Goggomobil, Bond- Dreiradfahrzeuge, Rovin, Fuldamobil usw. bekannt.

### 3.6. Sinn oder Unsinn \_\_\_\_\_

Durch die Massenfertigung vier- oder mehrplätziger Automobile wurde auch deren Anschaffung günstiger. Dies führte bei den Konsumenten zu einer Bevorzugung derselben und damit zur heutigen Blechlawine auf den Strassen. So ist es dazu gekommen, dass die Mehrzahl aller Fahrten beispielsweise zum Arbeitsplatz mit einem Gefährten erfolgen, welches 800 bis 1600 kg oder noch mehr wiegt. Mit weniger als einem Viertel seiner Kapazität ausgenutzt ist und damit Energie und Platz verschwendet, welche sinnvoller genutzt werden könnte.

Aus dieser historischen Entwicklung heraus zeigt sich die Notwendigkeit, durch die Entwicklung eines angepassten Geräts die heutigen technischen Möglichkeiten zur Verbesserung zu nützen. Ich denke es sollte nicht versucht werden, sich bezüglich Fertigungskosten mit den Automobilherstellern zu vergleichen. Denn die Herstellung eines Einspurfahrzeuges beansprucht in der Einzelproduktion wesentlich mehr Zeit (ca.300h) als die Fließbandherstellung eines Automobils für dessen kompletten Zusammenbau gerade mal 23h aufgewendet werden müssen.

Ich könnte mir vorstellen, dass die hervorragenden Fahrleistungen, geringer Energie- und Platzverbrauch, sowie Exklusivität bei einer größeren Fahrzeugbaufirma ein geeignetes Marktpotential hervorrufen würden. Es könnten Konsumentengruppen angesprochen werden, welche eine tiefere Preisklasse bevorzugen, damit letztlich eine Entlastung der erwähnten Engpässe gefördert würde



## 4. KONSTRUKTION

Aus der historischen Entwicklung (siehe Punkt 3.) geht hervor, dass eine Anpassung der Transportkapazität an die effektive Transportanforderung zu überdenken wäre. Durch eine solche Anpassung könnte der Gesamtnutzeffekt stark verbessert werden. Der umgekehrte Weg, nämlich die bessere Auslastung, scheiterte bisher am Individualismus des Benützers. Im Weiteren kann eine Verbesserung nur dann erreicht werden, wenn die Sitzanordnung die Möglichkeit für eine aerodynamisch optimale Gestaltung gibt.

Diese Forderungen ergeben ein Fahrzeug welches ca. die Hälfte der Breite eines Automobils aufweist und somit einem Verhältnis von Länge  $l$  zu Breite  $b$ , bzw. zu Höhe  $h$  von 3:1 entspricht.

### 4.1. Spur- und Räderanzahl \_\_\_\_\_

Platzbedarf, Aerodynamik sowie Transportkapazität (gemäß 2.1) ergeben als günstigste Platzierung eine möglichst dichte Tandemanordnung der Sitze. Diese Festlegung setzt ein Einspurfahrzeug voraus, was bedingt, dass der Abfahrvorgang bzw. der Anhaltevorgang durch eine Stützvorrichtung stabilisiert werden muss. Dies wiederum bedingt ein Stützfahrwerk welches seitlich am Einspurfahrzeuge angebracht ist.

### 4.2. Kabinenkonstruktion \_\_\_\_\_

Aus Gewichtsgründen ist eine selbsttragende Kabine aus Kevlar- Karbonverbundfasern zu empfehlen. Es wäre eine so genannte Monocoque-Konstruktion mit integrierten

„Crash-Elementen“ anzustreben, wie sie in der Formel 1 mittels „Crash-Flöten“ oder im Flugzeugbau angewendet wird. Dieses Verfahren ist sicherlich eines der zeitaufwendigsten und teuersten die es im Moment auf dem Markt der Verfahrenstechniken gibt. Grund für die hohen Kosten ist, dass jede Lage mit dem entsprechenden Schnittmuster von Hand in das Formwerkzeug eingelegt werden muss.

Der Vorteil dieser Technik ist das minimale Gewicht und die dreifache Kraftaufnahme im Falle eines Zusammenstosses, ganz im Gegensatz zu einem aus Blech gebauten Chassis. Durch die in Harz getränkten Carbon- resp. Kevlar-Rovings können je nach Beanspruchung und Bauteil verschiedene Festigkeiten erreicht werden. Die Schalenkonstruktion aus Epoxydharzen soll durch Plexiglasscheiben wetterfest abgeschlossen werden.

Eine solche Monocoque-Struktur mit Kraftübertragung an der Aussenkontur wäre nicht nur die widerstandsärmste und leichteste, sondern auch die sicherste Form des Fahrzeugbaus. Denn, wie eine Nusschale den Kern, so schützt ein solches Konzept die Insassen bestmöglichst und ist auch für ein Unfallgegenüber, durch die glatte Aussenfläche schadenmindernd. Dabei spielt es keine Rolle ob wir bei dem Opfer von einem Lebewesen, einem Fahrzeug oder einem anderen Gegenstand ausgehen.

Bild 10: Monokok Konstruktion für Segelflugzeuge

### 4.3. Triebwerk

Mit der Wahl von Motorradteilen als Fahrwerkkomponenten bietet sich der Motor der diesjährigen BMW 1200 GT/ KS als Triebwerk an. Der Einbau muss so geplant sein, dass andere Motoren ohne große Änderungen ebenfalls installiert werden können. So wäre es möglich, in Zukunft ein mit Brennstoffzellen betriebener Motor unter keinen großen Veränderungen der Fahrgastzelle einzubauen. (Nur müsste der für die Motorräder noch erfunden werden).

Durch die Wahl eines Motorradmotors ergibt sich die Einbauart einer Mittelmotorkonzeption. Diese ist im heutigen Wissensstand die beste und wünschenswerteste Antriebspositionierung für das optimale Fahrverhalten eines Fahrzeuges. In diesem Zusammenhang ist mir aufgefallen, dass es in der Motorradindustrie noch keine Frontantriebe oder gar Zweiradantriebe gibt. Der Allradantrieb könnte ein zusätzliches Antriebsmoment auf die Fahrbahn übertragen und die hohen Traktionskräfte auf den Asphalt bringen.

Durch die Kombination von Heckmotor und Tandemanordnung gemäß 3.1. hingegen ergibt sich eine erhebliche Fahrzeuglänge und ein Radstand von 2500 mm. Dieser lange Radstand wirkt sich sehr positiv auf Beschleunigungs-, Fahr- und Bremsverhalten ein Fahrzeuges im Vergleich zum herkömmlichen Motorrad aus. Zudem äußert sich eine Abweichung zum Motorrad, indem sich der Tank nicht oberhalb des Motors befindet sondern am tiefsten Punkt des Fahrzeuges angebracht ist und mit einer Pumpe versorgt wird. Somit liegt auch der Fahrzeugschwerpunkt einen halben Meter tiefer als beim herkömmlichen Motorrad, was sich wiederum positiv auf die Stabilität auswirkt.

### 4.4. Stützvorrichtung

Der Erfolg eines Kabinenmotorrades oder Einspurautos hängt, wie die historischen Entwicklungen (gemäß Punkt 3) zeigen, von einer praktisch verwendbaren Stützvorrichtung ab. Die Beinabstützung schwerer Motorräder mit Betriebsgewichten von bis zu total 500 kg zeigt, dass zwar auf schlechtem Untergrund eine gewisse Umkippgefahr besteht, andererseits selbst im Stadtverkehr für geübte Fahrer wenig Integrationsprobleme in Go- and- Stopp- Verkehr bestehen.

Eine Kabine welche Sicherheitsanforderungen (gemäß 2.4.) bzw. der Komfortanforderungen (gemäß 2.5.) erfüllt, schließt eine Beinabstützung wegen der fehlenden Öffnungen mit Sicherheit aus. Daraus folgt, dass ein manuell bedienbarer Mechanismus notwendig wird, welcher die Stützaufgabe übernehmen kann.

Das Einspurfahrzeug muss daher mit einem Stützfahrwerk versehen sein, welches für den instabilen Langsamfahrt- und Standbereich abgesenkt und für den stabilen Fahrbereich eingezogen werden kann. Es wäre heute sicher möglich, diese Aufgabe durch eine Vollautomatik zu ersetzen und den Fahrer von der Handbedienung zu entlasten.

Bei einem Umkippen des Gefährts soll die Stützvorrichtung Insassen vor Verletzung schützen wie auch Schäden an Transportgut und Fahrzeug verhindern. Die Stützräder müssen daher im eingefahrenen Zustand leicht aus der Fahrzeugkarosserie herauschauen.

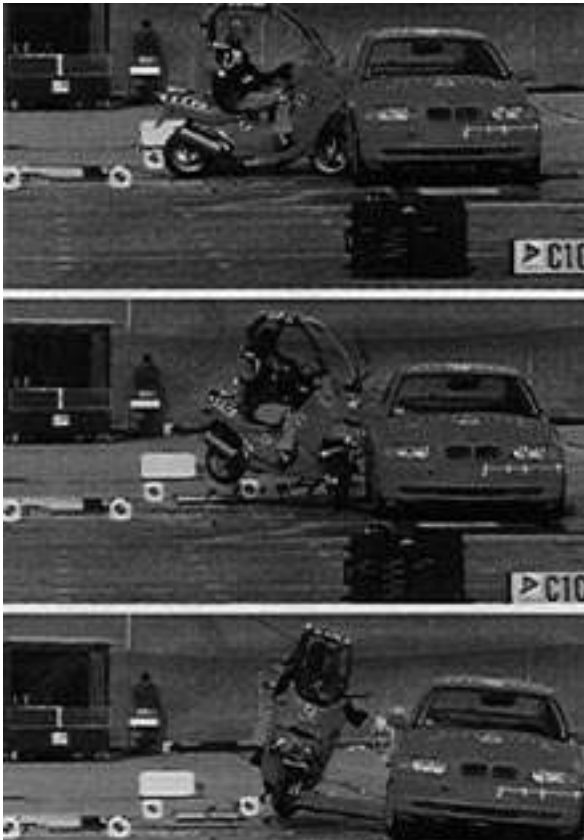


Bild 11: BMW-Pressedienst; C1 mit Sitzgurten ohne Helm pflicht  
4. Julian Bond, Royce Creasey/A. McBurnie; Feet-Forward  
(Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Pro-  
gramm für mehr Sicherheit im Straßenverkehr, Seite19)

Das Verlassen des umgekippten Mobiles muss in allen Kipplagen (rechte- bez. linke Seite) für die Insassen gewährleistet sein. Der Einstieg- bzw. Notausstieg soll somit in allen Situationen gesichert sein.

#### 4.5. Sicherheit \_\_\_\_\_

Die Sitze müssen wie in einem Automobil mit Sicherheitsgurten ausgestattet sein, um ein Tragen von Schutzkleidung bzw. Schutzhelmen zu eliminieren. So könnte man die hohen Strömungseffekte besonders am Helm ausmerzen, denn dessen Akustik koppelt den Fahrer von seiner Umgebung ab, belastet Gehör sowie Nackenmuskeln und führt schlussendlich zur Ermüdung. Bei Motorrädern müsste zudem der Beinschutz verbessert werden, was in einer geschlossenen Variante kein Thema mehr wäre.

Zum Schutz der schwächeren Verkehrsteilnehmer sollen Öffnungen und Kanten so gestaltet werden, dass kein zusätzliches Verletzungsrisiko zum Beispiel für Fußgänger entsteht. Speziell unter diesem Aspekt der passiven Sicherheit musste auch die Entwicklung eines Motorrad-Airbags gefördert werden.

Die aerodynamische Durchbildung von Fahrzeugen beeinflusst nicht nur die aktive Fahrsicherheit (siehe Punkt 5.7.), sondern über die Aussenkonturen auch die passive Sicherheit bei Unfällen in erheblichem Mass. Schon von den <sup>4</sup>Dustbin-Verkleidungen ist bekannt, dass eine aerodynamische Durchbildung verletzungs-mindernd wirken kann, z.B. beim Entlangscheuern von einem Hindernis, einer Mauer oder einer Felswand.

Eine selbsttragende Monocoque-Struktur (siehe Punkt 4.2.) würde somit hervorragende Voraussetzungen für einen passiven Unfallschutz bieten.

Die Vollverschalung des Motorrad-Vorderteils ist damit eine effektive Maßnahme zur Reduktion von inneren und äußeren Unfallfolgen. Sie verhindert oft das Anhängen an Hindernissen während und nach einem Sturz und das Verkleben von Objekten mit Vorderradblockierung. Das Vorderrad wird dabei mit dem Reifen als Puffer- und Deformationselement eingesetzt.



#### 4.6. Rahmenkonstruktion

Es gibt im Motorradbereich eine enorme Vielfalt an Bauarten und technischen Lösungen für Rahmenkonstruktionen.

Bei Pkws verdeckt die Karosserie das Chassis. Aus Kostengründen und wegen Massenproduktionen haben sich technische Lösungen für Karosserien vereinheitlicht. Die Formen sind daher alle ziemlich ähnlich.

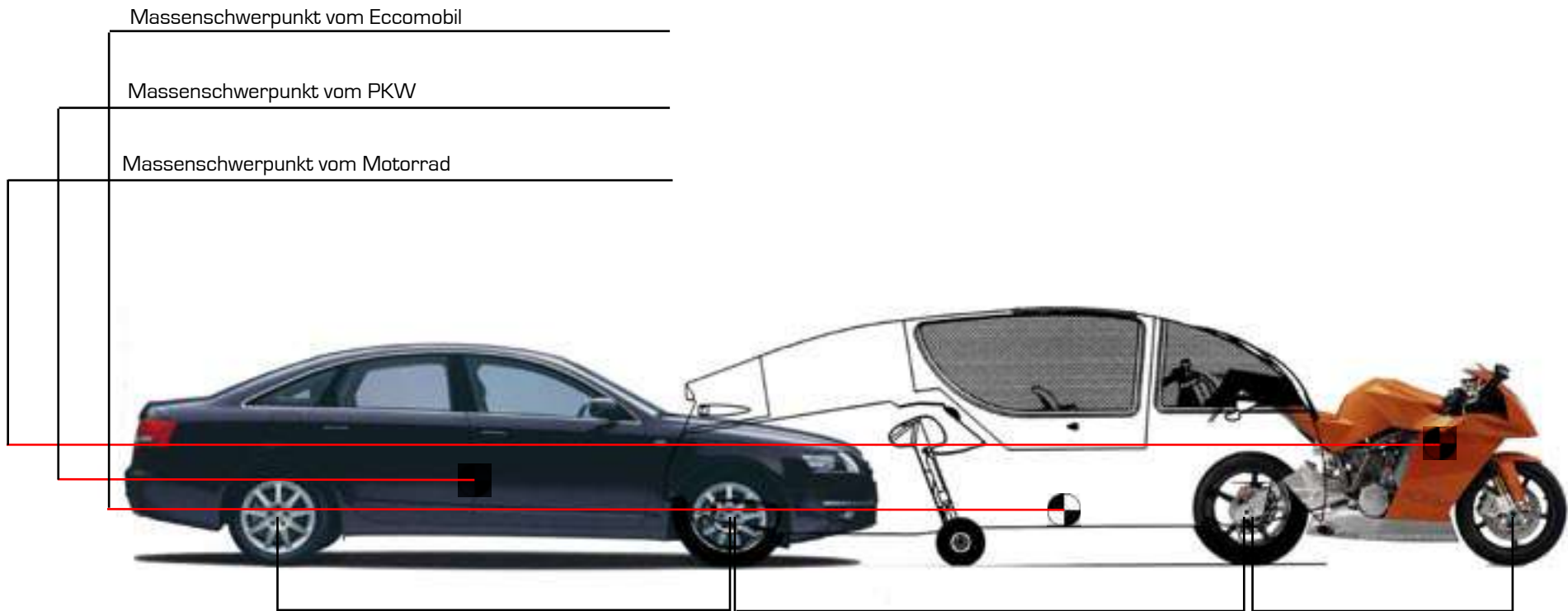
Im Motorradbereich gibt es dagegen eine erheblich größere Vielfalt an Konstruktionen und Strukturen. Denn bei den Zweirädern ist der Rahmen meist sichtbar und damit optischer Bestandteil des Fahrzeuges. Dies führt zu hochentwickelten Herstellungsverfahren, um die ästhetischen Anforderungen zufrieden zu stellen.

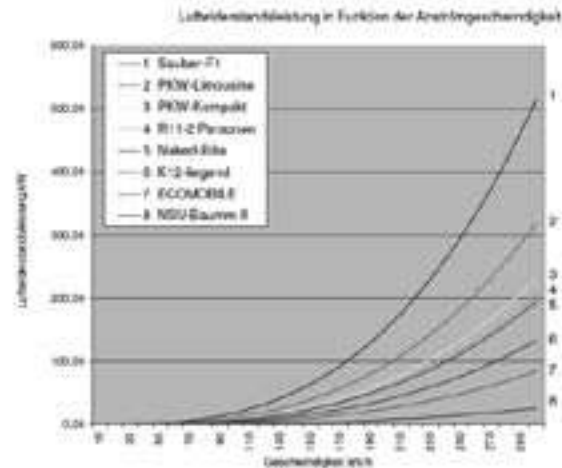
Merkwürdig erscheint jedoch, dass man bei Flugzeugen, Schiffen und Autos schon lange auf selbsttragende Strukturen/Bootskörper/Karosserien übergegangen ist, während beim Motorrad, mit Ausnahme gewisser Schalenansätze bei Rollern, mit großem Aufwand Rahmen gebaut und darum herum reine Formverschalungen teuer befestigt werden.

#### 4.7. Zuladung

Grundsätzlich ist es so, dass bei Belastung eines Einspurfahrzeuges im dynamisch-stabilen Fahrzustand dessen Fahrwerk bzw. tragende Struktur (Rahmen/ Karosserie) praktisch nur in der Symmetrieebene Kräfte aufnehmen bzw. belastet werden kann. Somit wird die Staufläche direkt in die Konstruktion des Gehäuses integriert und befindet sich senkrecht über dem Motor. Damit wird ein einseitiges Beladen ausgeschlossen.

#### 4.8. Massenschwerpunkt





## 5. MOTORRAD-AERODYNAMIK

Es gibt in der Motorradindustrie wohl keinen anderen physikalischen Aspekt, der einen so grossen Einfluss auf die Leistung hat wie die Aerodynamik. Dies gilt für die F-1, normale PKWs aber auch für Motorräder, welche sich ursprünglich aus dem Fahrrad weiter entwickelten. Erst viel später entwarfen die Hersteller verschiedene Verkleidungen zu unterschiedlichen Zwecken wie beispielsweise zur Verminderung des Luftwiderstandes.

Verkleidungen für Sportmotorräder entstanden, um sowohl die aerodynamischen Eigenschaften als auch das Fahrverhalten zu verbessern und den Winddruck auf den Fahrer bei hohen Geschwindigkeiten einzuschränken. Dadurch konnte der Fahrer selbst bei höheren Geschwindigkeiten Wind- und Wetterschutz nutzen ohne sich verzweifelt am Lenker festklammern zu müssen.

### 5.1. Widerstand

Motorräder bewegen sich, wie andere Fahrzeuge, normalerweise auf der Erde und innerhalb der Luft, also in zwei Elementen. Die Fahrwiderstände eines Motorrades hängen demzufolge bei Geradeausfahrt vom Rollwiderstand der Reifen und vom Luftwiderstand ab. Dazu haben auch Faktoren wie Geschwindigkeit, Grösse und Ausarbeitung der Frontfläche sowie Windschlüpfrigkeit Einfluss auf das Widerstandsverhalten des Fahrzeuges. Auf den Zusammenhang zwischen Aerodynamik und Formgebung werde ich im Kapitel Aerodynamik und Design (siehe Punkt 6. Design) noch genauer eingehen.

Der Einfluss der Aerodynamik auf die Fahrzeugfunktionen kann gesamthaft in etwa wie im Diagramm 1 dargestellt werden.

Beispiele dazu in Diagramm 1:

5 Luftwiderstandsleistung in Funktion der Anströmgeschwindigkeit

### 5.2. Luftwiderstand

Die größte Luftwirkung an Fahrzeugen ist Widerstand, den die Luft dem bewegten Fahrzeug mit leider nur bremsendem Ergebnis entgegensetzt. Die Effizienz jedes schnellen Fahrzeugs wird überwiegend vom Luftwiderstand bestimmt, in Abhängigkeit seines Querschnitts und der aerodynamischer Durchbildung. Strömungsgesetze schreiben schlanke, glatte Formen ohne sprunghafte Querschnittsänderungen vor. Die zur Überwindung des Luftwiderstandes aufzubringende Leistung steigt mit zunehmender Geschwindigkeit.

Aerodynamische Änderungen wirken sich über ca. 150 km/h dominant auf Fahrleistung bzw. Verbrauch aus. Als Vergleich ins Diagramm 2 (nächste Seite) aufgenommen, braucht der SAUBER-Formel-1-Bolide von allen dargestellten Fahrzeugen weitaus am meisten Leistung zur Überwindung des Luftwiderstands (etwa 155 kW bei 200 km/h). Beim F-1 entsteht ein durch die beiden Flügel und den Unterboden hervorgerufener Abtrieb, welcher einen so genannten Sog zur Folge hat.



Diagram 2: Geschwindigkeit in km/h und Cw Werte

Fahrzeug	CwxA	Quellen
1. SAUBER F-1	~ 1.45	RED BULL SAUBER AG
2. PKW Limousine OPEL OMEGA 93	~ 0.95	Messung PVS 018/96
3. PKW Kompakt VW Golf 2 GTI 95	~ 0.65	Messung PVS 019/96
4. MRD BMW R1100RT 96 mit 2 Personen	~ 0.585	Messung PVS 024/97
5. MRD SUZUKI Bandit 1200 Fhr. sitzt	~ 0.549	MRD 10/97
6. MRD BMW K1200RS Fhr. langliegend	~ 0.375	MRD 10/97
7. PERAVES W-18K11T TURBO-ECO	~ 0.240	Messung PVS 026/97
8. NSU-Baumm-II-Rekordfzg.	~ 0.080	NSU-Pressedienst 1955



Bild 13: NSU-Baumm-II-Rekordfzg.

Bild 14: Unverkleidetes Motorrad im Windkanal Quelle: MRD10/97



Dieser Sog wird zur Kraftübertragung bzw. Kurvengeschwindigkeitserhöhung genutzt. Somit hätte man genügend Leistung, Traktion und Abtrieb, um bei etwa 180 km/h ohne weiteres eine senkrechte Wand hoch und dann weiter kopfüber an einer Decke zu fahren, ohne herunterzufallen!

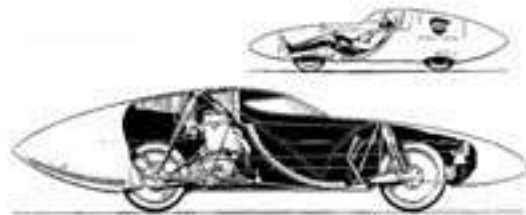
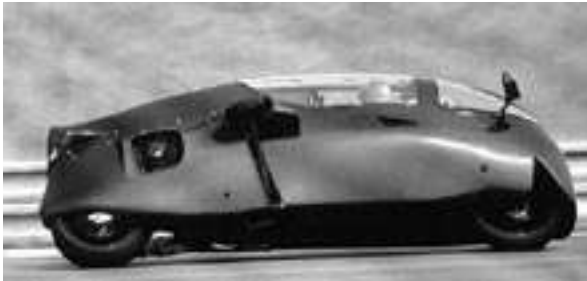
### 5.3. Leistung

Ein PKW braucht bei 200 km/h beachtliche 60-100 kW für den Kampf gegen den Fahrtwind. Das Automobil wäre also, bei voller Besetzung (4 Pers.), mit einer Luftwiderstandsleistung von 15-20 kW pro Person recht effizient. Allerdings fahren selten mehr als 1 bis 2 Leute mit.

Dass ein Tourenmotorrad mit 2 Aufsassen über 60 kW bei 200 km/h gegen den Winddruck aufbieten muss zeigt, dass im Gegensatz zum Auto, die Luftwiderstandsleistung von der Fahrzeugbeladung stark beeinflusst wird. Mit über 30 kW pro Person, zweifachem PKW-Wert, glänzt man in der Effizienz nicht besonders.

Das "Naked Bike" mit knapp unter 60 kW bei 200 km/h, nur mit dem Fahrer besetzt, schneidet noch schlechter ab.

Nicht nur Größe, sondern auch Bekleidung und Körperhaltung der Aufsassen beeinflussen den Luftwiderstand in grosser Masse. Zudem muss man sich gegen den Winddruck mit dem Körper abstützen und an der Lenkstange festhalten. Ein Grund, warum z.B. Testresultate bezüglich Fahrleistungen bei Motorrädern viel mehr streuen als bei Autos.



#### 5.4. Kabinenmotorräder

Vollverkleidete Kabinen- und Rekordzweiräder kommen leichter gegen den Fahrtwind voran. Ein zweiplätziges Kabinenmotorrad braucht gerade einmal 25 kW, bei voller Besetzung also 12,5 kW pro Person. Das <sup>6</sup> NSU-Baumm-II-Rekordfahrzeug gibt sich gar mit knapp 8 kW bei 200 km/h zufrieden.

Mit verbesserter bzw. weniger schlechter Durchbildung der Fahrzeuge hat man in den letzten Jahren wesentliche Abminderungen der Luftwiderstandsleistung erreicht. Beim PKW haben abgerundete Pontonformen, „aufgeräumte“ Unterböden, fugenlose Scheibenmontagen und bessere Motorraumdurchströmungsverhältnisse seit 1970 rund 30 % Verringerung gebracht. Motorräder hingegen wurden nicht im gleichen Masse verbessert. Die Integration der Aufsassen hat wenig Fortschritte gemacht.

Es sind jedoch erhebliche Verbesserungen möglich, wenn die Frontpartie voll verkleidet und die Querschnittsfläche durch Staffeln von Aufsassen und Motor verringert würde.

Durchströmungen aller Art (notwendige und überflüssige) des Fahrzeugs verschlechtern (meist) den  $C_w$ -Wert. Eine bessere Integration der Ein- und Auslassöffnungen in die Querschnittsfläche und eine sorgfältige Ausbildung derselben bieten noch erhebliches Verbesserungspotential. Diese Integration der Fahrzeugdurchströmungsvorgänge wie sie im Automobilbau heute auch angestrebt wird, erscheint deshalb sehr wichtig. Interessant ist dazu besonders ein Vergleich des Kühlergrills bei Autos von 1970 und heute.

#### 5.5. Strassenlage

Luftwirkungen beeinflussen die Strassenlage von Fahrzeugen erheblich. Ohne Flügel, Spoiler oder ähnlichem erleidet das konventionelle Motorrad an der Vorderachse bei schneller Fahrt eine Entlastung, resp. Auftrieb.

Abtriebserzeugung rein über Spoiler, resp. Flügel wäre beim Motorrad jedoch unsinnig, weil es in der Kurve geneigt wird und dann Flügel oder Spoiler entgegen der Schräglage gekippt werden müssten. Auch eine Ausnutzung der Sogwirkung zwischen Strasse und Fahrzeug, wie sie in der F-1 praktiziert wird, ist für Abtrieb wegen des grösseren Bodenabstandes und der kleinen Grundfläche unmöglich. Mit Formgebung des Oberteils in Form von Halbschalenverkleidung wird hingegen versucht, eine Spoilerwirkung, d.h. Reduktion des Auftriebs zu erreichen.

Hier stellt sich auch die Frage, ob es möglich wäre, und wenn ja wie, Strassenlage und damit Traktion, Kurvengeschwindigkeit und Bremsung beim Motorrad mit aerodynamischen Mitteln zu verbessern?

Zur Traktionsübertragung müsste das Motorrad vorne heruntergedrückt werden, denn voller Leistungseinsatz führt bei starken Maschinen zum „Wheelie“, dem Abheben des Vorderrades, was bei jedem 500er-GP oft die Beschleunigungslimite darstellt. Zum Bremsen wäre das Hinterrad zu drücken, und in der Kurve ist Auftrieb in der Fahrzeugsymmetrieebene über beiden Achsen erwünscht.

Mit starren Flügeln oder Spoilern sind diese Forderungen wie oben schon erwähnt nicht unter einen Hut zu bringen.

Bild 15: PVS-Archiv 50 GradKurvenschräglage

Bild 16: NSU-Baumm-II-Rekordfahrzeug

6. Arnold Wagner; Ecommobil in Publikation



Es ist jedoch vorstellbar, mit einem oder zwei verstellbaren Flügeln ähnliche Werte der Reibungsübertragung wie bei der F-1 zu erreichen.

Traktion und Bremsung leiden beim herkömmlichen Motorrad unter dem kurzen Radstand, der hohen Schwerpunktlage und der starken Motorisierung. Dies kann dynamische Radlastverlagerung bis über 100% ergeben, indem beim Beschleunigen das Vorderrad und beim Bremsen das Hinterrad abhebt. Ein einfaches Mittel zur Abhilfe ist Absenkung des Schwerpunktes und Vergrößerung des Radstands. Dazu ist wiederum Staffelung von Aufsatze(n) und Triebwerk in der Art eines „recumbent bike“ notwendig.

### 5.6. Bewegliche Flügel \_\_\_\_\_

Bewegliche Flügel sind in der Fahrzeug-Aerodynamik kaum gebräuchlich, weil sie durch merkwürdige Fälle von aerodynamisch bedingten Störungen der Strassenlage mit Stabilitätsverlust und Unfällen in Verruf geraten sind.

<sup>7</sup>Die Schlüsselstory dazu hat sich am Formel-1-GP 1969 in Barcelona ereignet. Jochen RINDT und Graham HILL flogen in der 19. Runde in der gleichen Kurve aus der Bahn, weil beide LOTUS einen Bruch der hinteren, verstellbaren Fläche hatten. Im Rennen erlitt zudem noch der Flügel des Brabham von Jacky ICKX (Bild 17) dasselbe Schicksal und die damalige CSI verbot kurzerhand alle beweglichen Flügel im Rennsport. Heute ist klar, dass Schlamperei bei der Befestigung (direkt auf der Aufhängung) und insbesondere Ahnungslosigkeit bei der Lastberechnung (wenn überhaupt durchgeführt) das Debakel verursacht haben.

In der Luftfahrt ist Angst vor beweglichen Flächen unbekannt, weil jedes Flugzeug mehrere solche Einrichtungen hat und Funktionsstörungen bei Beachtung der Bauvorschriften ausserordentlich selten vorkommen.

### 5.7. Fahreigenschaften und Stabilität\_\_\_\_\_

Besonders Zweiräder reagieren empfindlich auf Umgebungsturbulenzen oder Seitenwind und sind unter deren Einfluss erheblich schwieriger zu steuern als Automobile. Selbst lokale Turbulenzen sind in solchen Fahrzeugen spürbar, etwa auf Autobahnen bei hohem Verkehrsaufkommen.

Bei Fahrzeugen mit grossen Abreissflächen oder Strömungsablösungen entsteht an vorstehenden, kantigen Teilen des Aufbaus oder der Aufsassen Verwirbelungen mit hochfrequentem Rütteln.

Früher hat man Stabilitätsstörungen durch Turbulenz oder Seitenwind fast nur mit Änderungen der Fahrzeugform bekämpft und damit Fahreigenschaften zu verbessern versucht. Ein Fahrzeug ist aber kein reiner Flugkörper und kann durchaus vom Fahrwerk her stabilisiert werden.

1957 verbot die FIM im Motorradrennsport, aerodynamische Vollverkleidungen, weil dadurch die Motorräder sehr seitenwindempfindlich und somit für ihre Fahrer unkontrollierbare Höllenmaschinen wurden. Auch die <sup>7</sup> Blauwal/Dustbin-Verkleidung wurde mit Seitenwindproblemen in Verbindung gebracht. Merkwürdigerweise ist seither diese DUKE-Formel im Motorradbau quasi sakrosankt geworden, denn (fast) niemand hat sich mehr getraut, Fahrzeuge mit vollverkleideten Vorderrädern zu bauen.

Bild 17: Formel-1-Flügelbruch;Quelle: AMS 11/69

Bild 18: Blauwal/Dustbin-Verkleidungen

7. Arnold Wagner; Ecommobil in Publikation



### 5.8. Seitenwind

Für die Beurteilung der Seitenwind-Empfindlichkeit fährt die Maschine mit einer Geschwindigkeit von  $V_f = 100 \text{ km/h}$  an einer 5-zelligen Windanlage vorbei. Diese bläst mit einer Windgeschwindigkeit von  $V_w = 80 \text{ km/h}$  quer zur Teststrecke. Solche Windgeschwindigkeiten können Bäume entwurzeln. Praktisch kommt Windstärke 10 in Europa jedoch selten vor, allenfalls an Seen oder bei Föhnsturm in Alpentälern. Gemessen wird die Kursabweichung auf einer Strecke  $s = 30 \text{ m}$ .

Einspurfahrzeuge bauen mit zunehmender Geschwindigkeit laufend mehr dynamische Stabilität auf. Das einer plötzlichen Seitenwindkraft ausgesetzte Motorrad legt sich selbsttätig gegen den Wind, weil dieser am Vorderrad über den Nachlauf ein entsprechendes Lenkmoment auslöst.

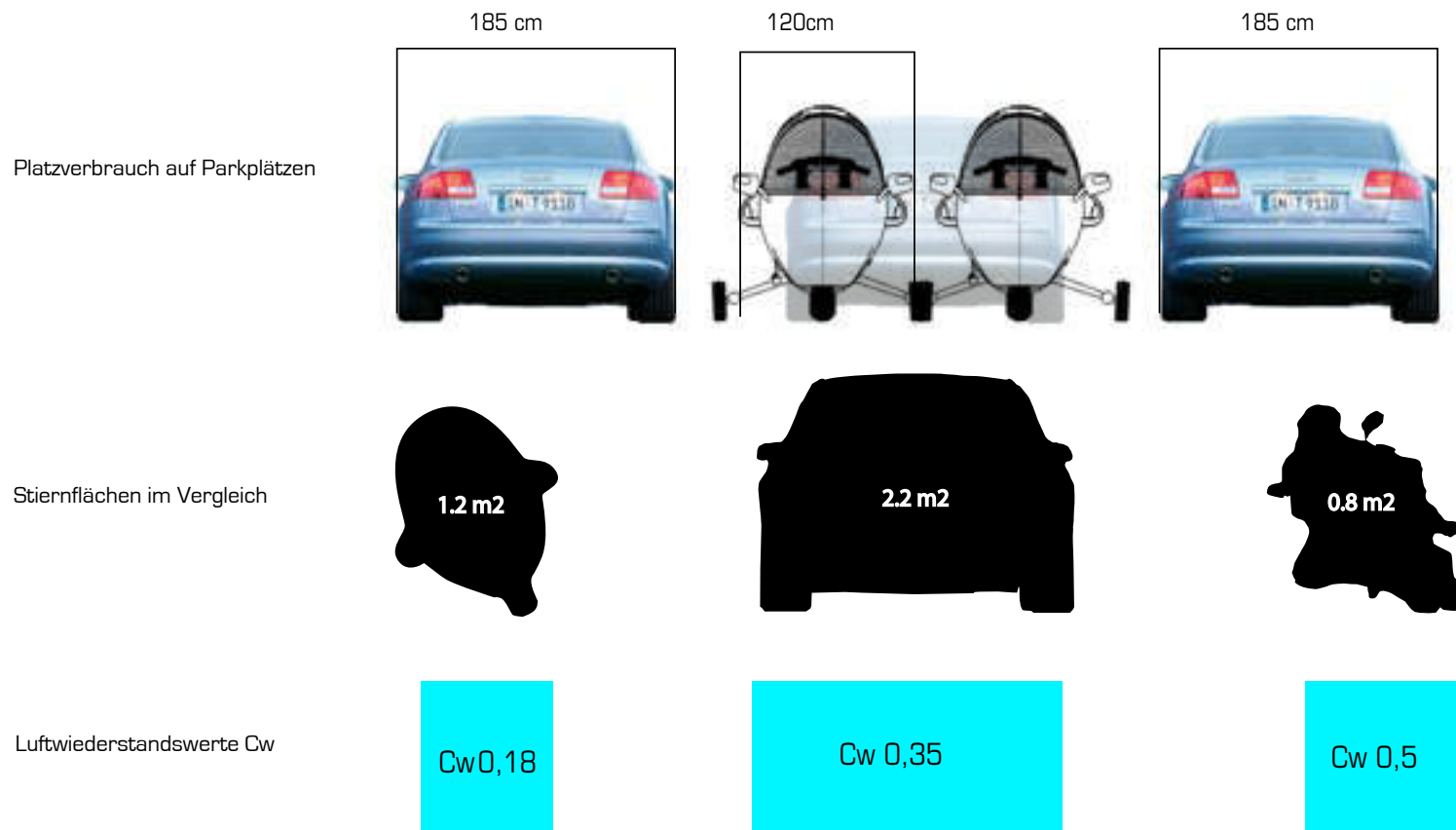
Bei konventionellen Motorrädern muss sich der Fahrer gegen den Winddruck an der Lenkstange festhalten und blockiert damit mehr oder weniger diese Gegenreaktion.

Vollverkleidete Motorräder neigen sich bei freier Lenkung so stark gegen den Wind, dass die Spur nach einer kurzen Abweichung auf die Leeseite parallel zur ursprünglichen Fahrtrichtung oder sogar auf die Luvseite verläuft. Konventionelle Motorräder neigen sich weniger stark gegen den Wind, sodass die Spur mehr oder weniger auf die Leeseite abweicht.

Bild 19: Seitenwindkanal; Quelle: AUTO-BILD 45/97

Bild 20: ECCOMOBILE mit Überkompensation Quelle: PVS-Archiv

### 5.9. Platzverbrauch/Luftwiderstand



## 6.AERODYNAMIK UND DESIGN

In welchem Zusammenhang stehen Aerodynamik und Design überhaupt? In der Fahrzeugindustrie ist das Zusammenspiel von Aerodynamik und Design unumgänglich, das Design hängt sogar von den Gesetzen der Aerodynamik ab.

### 6.1. Tropfenform

Schon früh hat man sich mit der Findung der optimalen Form eines Fahrzeuges mit dem kleinstmöglichen Luftwiderstand beschäftigt. Zu diesem Zweck hat man sich des Wissens der Natur bedient und ist auf die <sup>B</sup> Form des Tropfens im freien Fall gestossen.

Früher ist man davon ausgegangen, dass ein Regentropfen während seines freien Falls die „klassische“ Form eines Tropfens beibehält. Die deutsche allgemeine Zeitung schreibt zum Beispiel am 07.10.1923: „...der Tropfen hat nämlich von Natur Stromlinienform, d.h. er nimmt eine Gestalt an, die beim Fallen den geringsten Widerstand leistet, deren Linien die Luft mit der geringsten Reibungs- und Wirbelbildung abströmen lassen...“

Auch die Neue Badische Zeitung ging schon vom selben Prinzip aus und schrieb bereits am 23.10.1921: „...wenn ein Tropfen frei niederfällt, so verschieben sich seine kleinsten Teilchen unter dem entgegenstehenden Druck der Luft, dass sie bei deren Durchdringung den geringsten Widerstand finden. Es entsteht auf diese Art die Figur, die als die eigentlich tropfenförmige anzusprechen ist. Der frei fallende Tropfen hat nicht etwa vorn eine Spitz, er ist hier vielmehr sanft gerundet und läuft nach hinten spitz aus...“

Zu all diesen Erkenntnissen sind wir nun durch die Beobachtung der Form des fallenden Wassertropfens gekommen, der also auch als trefflichen Lehrmeister angesprochen werden muss.“

So haben noch weitere Zeitschriften und Institute Artikel über die Form des fallenden Tropfens und dessen Zusammenhang mit der Aerodynamik veröffentlicht.

Dieser Blick in die Natur war aber noch nicht tief genug. Ein Wunder ist eigentlich, wie diese Darstellung von der vermeintlichen, vorn runden, hinten spitzen Gestalt des fallenden Tropfens in die Literatur kritiklos Eingang finden konnte. Die Natur selbst hat zu dieser scheinbaren Erkenntnis bisher noch nichts beigetragen. - Der fallende Tropfen hat nämlich im Wesentlichen die Form einer Kugel. Dies wird vielen seltsam vorkommen, die vielleicht glauben, die vermeintliche, unten breit und oben spitze Gestalt des Tropfens sogar gesehen zu haben. Das ist wohl erklärlich, denn solange der Tropfen an einem Gegenstand hängt und im begriffe ist ihn infolge genügender Schwere zu verlassen, hat er eine etwa birn- oder sackförmige Gestalt. Sie wird durch das Zusammenwirken der Schwerkraft und der Oberflächenspannung bewirkt. Im Augenblick des Loslösen aber verwandelt sich der Tropfen sofort in eine Kugel. Diese Form oder doch eine kugelähnliche Gestalt behält er also dann bei.

Nun, ob Tropfenform oder Kugel - sicher ist, dass wir Menschen keinen richtigen Instinkt für Bewegungswiderstände in der Luft besitzen. Diese Tatsache erschwehrt uns die Suche nach der idealen Stromlinienform mit den kleinstmöglichen Luftwirbelungen enorm.

## 6.2. Stromlinienform

Dass eine Formwandlung des Automobils im Sinne des in der Natur überall erkennbaren Gesetzes des kleinsten Kraftaufwandes früher oder später erfolgen muss, ist klar. Die heutige äussere Gestalt des Automobils entspricht durchaus nicht mehr dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft. Bedient man sich aber zur Verringerung des Luftwiderstandes der jetzigen Kraftwagen der Erkenntnisse der modernen Aerodynamik, kann dies nur nach dem Prinzip der <sup>9</sup> Stromlinien geschehen.



Bild 21: Stromlinienform; Auto-Union- Rekordwagen; Rosenmayer

9. Glaude Lichtenstein und Franz Engler; Stromlinienform S. 314

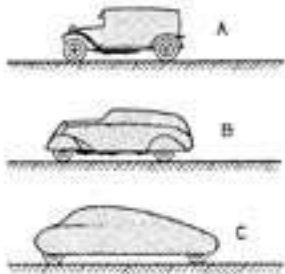
Die „Stromlinienform“ ist die Form des geringsten Luftbez. Flüssigkeitswiderstandes, wie wir sie zum Beispiel bei Fischen sehen. Zur Stabilisierung dieser Form besitzt der Fisch seine Kiele und Flossen. Für den fallenden Tropfen wäre diese „Fischform“ zunächst deshalb unmöglich, weil sie sich als vollständig instabil erweist, d.h. ein Körper in dieser Form frei fallen gelassen, überschlägt sich schon nach einigen Metern und kommt in eine unkontrollierbare Strudelbewegung. Kiele und Flossen wie sie eben beispielsweise Fische zur Stabilisierung besitzen werden auch von unseren modernen Luftschiffen benötigt. Es wäre undenkbar, ohne diese Einrichtung mit Luftschiffen geradeaus zu fahren.

In der Fahrzeugindustrie, wo wir nicht von einem Gefährt im dreidimensionalen Raum ausgehen, sondern uns in zwei Dimensionen frei bewegen, üben die Räder, resp. der Bodenkontakt eine Funktion der Stabilisierung aus.

Der Grundriss eines Wagens muss so entworfen sein, dass bei Querwinden so wenig seitlicher Abtrieb wie möglich entsteht. Mit anderen Worten, die Form muss sich der idealen Stromlinienform annähern, indem sie allseitig vollständig abgerundet ist und keine scharfen Kanten aufweist. Bei guter Stromlinienform muss man jedoch Auftrieb tunlichst vermeiden, um bei Seitenwind auf der Strasse zu bleiben.

### 6.3. Formentwicklung des Automobils

In Abb. 16 liegt die Erklärung für eine Gestaltungsweise, die in Beziehung zu einer wirtschaftlichen Geschwindigkeit gesetzt ist. Abb. A war der Herkömmliche Typus des Automobils – harte Ecken, Dachüberstand über der Windschutzscheibe, freistehende Scheinwerfer, schlechte Strömungsverhältnisse zwischen Kotflügel und Haube. Abb. B, ein Wagen mit geneigter Windschutzscheibe, abgerundeten Ecken und in die Motorhaube übergehenden Kotflügeln. Das schräge Heck oder der eingezogene Kofferraum, selbst ein doppeltes Reserverad hinten trugen zur Wirtschaftlichkeit bei. Abb. C, dies wird der nächste Schritt bei der stromlinienförmigen Ausbildung des Autos sein.



Windkanäle sind ein beträchtliches Publizitätsinstrument bei der Entwicklung eines neuen Autos – und das Automobil bietet dem Aerodynamiker gewiss auch ein grosses Forschungsgebiet. Jedoch hat bis heute noch niemand im Windkanal den Bodeneffekt unterhalb des Fahrzeuges annähernd zu berücksichtigen, geschweige denn zu simulieren vermocht.

Ein Vergleich der Automobile der letzten zwanzig Jahre würde aufzeigen, dass sich die Ästhetik nicht im Gleichschritt mit dem technischen Fortschritt weiterentwickelt hat. Sie lag um viele Jahre zurück, bis schliesslich die Vervollkommnung der Automobilform zu einem eigenen Ziel der Designer, Modellbauer und Bildhauer wurde, die dafür mit dem Hersteller zusammenarbeiteten. Nachdem der Hersteller jahrelang dem Ziel, einen zuverlässigen Motor zu bauen entgegenstrebte, entdeckt er nun die Wirkung der Form auf den möglichen Käufer.

Bild 22: Gest. wirtschaftlivjer Formgebung



#### 6.4. Formgebung für das „EVO-ECCO“

In meiner praktischen Diplomarbeit befasste ich mich mit dem Design des bereits bestehenden „Ecomobils“ der Firma Peraves aus Winterthur. Das Ecomobil repräsentiert das verschaltete Einspurfahrzeug.

Die Länge des Ecomobils soll durch das Einsetzen eines Seitenelements kaschiert werden und somit eine optische Verkürzung hervorrufen. Eine C-Form umklammert das Seitenelement von hinten durch eine klare Linienführung. Dieses sogenannte Sideblade soll einerseits als Luftein- und auslass dienen und andererseits das Verkleidungselement der Stützvorrichtung darstellen. Der Grundriss erinnert mit den eingesetzten Elementen stark an einen Fisch mit weit geöffneten Kiemen.

Durch die Freilegung des Hinterrades, gewinnt das Fahrzeug an Sportlichkeit und Aggressivität, wie wir es vom „Naked Bike“ kennen. Gleichermassen soll auch vom Vorderrad mehr zu erkennen sein.

Das Design soll sich von der Ei-Form entfernen und mittels einer klaren Kante in der Dachpartie dem Fahrzeug einen Verlauf geben. Ein nach Hinten abgeflachtes Heck soll ein Überschuss an Leistung und Kraft symbolisieren. Die sich zum Ende des Fahrzeuges wieder leicht anhebende Outline übernimmt die abgeschwächte Funktion eines Spoilers.

Um eine gewisse Schräglage erreichen zu können muss die Formgebung in diesem Punkt angepasst sein. Klare, leicht gewölbte Linien führen aus diesem Grund von der Fahrzeug

unterseite in einem 52° Winkel schräg bis zur Schulterlinie des Fahrzeuges. Die Schulterlinie zieht sich gerade um das ganze Fahrzeug herum und bildet eine optische Trennung zwischen Fahrgastzelle und Technik.

Der nach oben zu öffnende Türflügel verläuft asymmetrisch über das Dach. Die Wölbung in der unteren Türpartie verleiht ihr eine bessere Stabilität. Der Türgriff ist unterhalb der Schulterlinie angebracht.

Der Gesamteindruck soll klassisch, sportlich sein und einen touch Power enthalten.

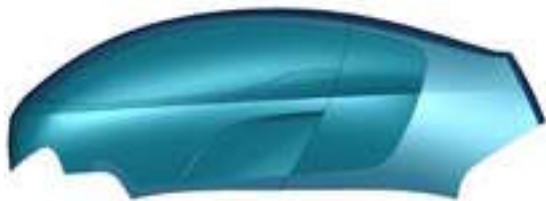


Bild 23: Entwurf T.Wülser „Evo-Ecco“; Seitenansicht

## 7. PERSÖNLICHE SCHLUSSFOLGERUNG

Bei dieser Arbeit geht es vor allem darum den Gebrauchswert eines Autos mit der Wendigkeit und dem Fahrspass eines Motorrads zu vereinen. Es soll mehr Sicherheit gewährleistet sein ohne Einbusse des Kurven- resp. Fahrgefühls.

Mit Front-Vollschalenverkleidung, einer Staffelung von Aufsassen und Triebwerk sowie diversen Maßnahmen betreffend Um- und Durchströmung können Nutzeffekt, Strassenlage, Fahrverhalten und Sicherheit stark verbessert werden.

Durch Einspurfahrzeuge wäre es möglich die Auslastung der Transportkapazität eines Gefährts massiv zu verbessern. Der Nutzeffekt jedes einzelnen Fahrzeuges könnte zwischen 50 und 100% liegen und dies ohne Einbusse des Individualismus. Die Strassen wären nicht mehr mit bis zu dreiviertel leeren Autos verstopft sondern die schlanken, wendigen, verschalten Motorräder würden sich geschickt durch den Verkehr schlängeln.

Die Transportkapazität steht im engen Zusammenhang mit dem Energiebedarf und der Umweltbelastung, sprich Ökologie. Je grösser der Nutzeffekt eines motorbetriebenen Gefährts, je kleiner wird der Energiebedarf pro Person und somit auch der Schadstoffausstoss an die Umwelt.

Die Aerodynamik im Design eines Fahrzeuges leistet zudem ihren wesentlichen Beitrag zu einem ökonomischen und

wirtschaftlichen Fahren. Eine ökonomische Fortbewegung steht somit in Abhängigkeit von Form und Auslastung.

Aus meinen Recherchen geht hervor, dass das konventionelle Motorrad bezüglich Aerodynamik von allen Fahrzeugarten wohl das grösste Verbesserungspotential aufweist. Wenn durch eine verbesserte Aerodynamik der Energiebedarf gesenkt wird wirkt sich dies wiederum positiv auf die Umweltfreundlichkeit des Gefährts aus.

Ein weiterer Punkt ist das Einsatzgebiet. Mit dem Kabinen-Einspurfahrzeug wäre oder ist ein Motorrad entstanden, welches nicht nur zu Sonntagsausflügen sondern auch als Zweck- und Nutzfahrzeug für den Alltag dient.

Durch die Vollverschalung zählt der Monotrace zu den sichersten motorisierten Zweirädern der Welt. Mehr Sicherheit, Allwettertauglichkeit und mehr Reisekomfort hebt den Kabinenroller auch erheblich vom herkömmlichen Motorrad ab.

Bezüglich Komfort ist zu erwähnen, dass die Fahrposition nicht wie auf einem konventionellen Töff „reitend“ ist, sondern einer normalen Sitzposition ähnlich sieht. Diese ist für längere Touren eine wesentlich angenehmere Haltung.

Folgernd können mit einem verschalten Einspurfahrzeug Kriterien punkto Auslastung, Ökologie, Sicherheit und Komfort erfüllt werden, an welchen Automobil- und Motorradindustrien noch lange anstehen werden.



Bild 24: Entwurf T.Wülser, „Evo- Ecco“; Draufsicht

Dazu kommt, dass die Schräglage in der Kurve viel intensiver empfunden wird als auf dem Motorrad, es ist eine neue Dimension der Fortbewegung...

„...es ist wirklich wie  
beim Fliegen!“

## 8. LITERATUR- UND BILDVERZEICHNIS

Claude Lichtenstein und Franz Engler; Stromlinienform (Streamline, Aérodynamisme, Aerodinamismo) - 1992	Bild 1: Audi_ON; Gastsemester in Graz
Sighard F. Hoerner; Fluid-Dynamic Drag (Aerodynamic Drag and Hydrodynamic Resistance) - 1965	Bild 2: Stereorieder; 7 Semester Projekt
Gaetano Cocco; Motorrad-Technik pur (Funktion - Konstruktion - Fahrwerk) - 2001	Bild 3: Sitzanordnung
Arnold Wagner; Motorrad-Aerodynamik (Zusammenhänge, Messwerte, Möglichkeiten) - 1998	Bild 4: Forstmaier Drais
Arnold Wagner; Ecommobil in Publikation (Publikations-sammlung) - ab 1986	Bild 5: Jan Anderlé; „Dalnik“
Julian Bond, Royce Creasey; Feet-Forward	Bild 6: Quasar Kabinenmotorrad
Diverse; Berichtsammlung aus neueren Medien - ab 1990	Bild 7: Messerschmitt- Kabinenroller
Simon McBeath; Formel 1 Aerodynamik; Motorbuch Verlag.	Bild 8: Fuldamobil
	Bild 9: Goggomobil
	Bild 10: Monokok Konstruktion für Segelflugzeuge
	Bild 11: Quelle, BMW-Pressedienst; C1 mit Sitzgurten ohne Helm pflicht
	Bild 12: SBR82 BIMOTA Tesi
	Bild 13: NSU-Baumm-II-Rekordfzg.
	Bild 14: Unverkleidetes Motorrad im Windkanal Quelle: MRD10/97
	Bild 15: PVS-Archiv 50 GradKurvenschräglage
	Bild 16: NSU-Baumm-II-Rekordfahrzeug
	Bild 17: Formel-1-Flügelbruch;Quelle: AMS 11/69
	Bild 18: Blauwal/Dustbin-Verkleidungen
	Bild 19: Seitenwindkannal; Quelle: AUTO-BILD 45/97
	Bild 20: ECCOMOBILE mit Überkompensation Quelle: PVS-Archiv
	Bild 21: Stromlinienform; Auto-Union-Rekordwagen;Rosenmayer
	Bild 22: Gest. wirtschaftlivjer Formgebung
	Bild 23: Entwurf T.Wülser „Evo-Ecco“; Seitenansicht
	Bild 24: Entwurf T.Wülser „Evo- Ecco“; Draufsicht