

**Bericht zur Exkursion München
WS 2001/02**

FIZ

FORSCHUNGS- UND INNOVATIONSZENTRUM BMW-MÜNCHEN

Exkursion 231.638
2.-4.12.2001

**Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
Technische Universität Wien**

Betreuer
Univ.-Ass. Mag. Dr. G. Emberger

Gruppe	
Martin Leitner	9325700 E630
Martin Wieser	9420295 E630
Matthias Zawichowski	9547415 E630
Christian Zwinger	9227402 E630

INHALTSVERZEICHNIS

<u>WAS IST DAS FIZ?</u>	<u>1</u>
VORGESCHICHTE ZUM FIZ	1
DAS FIZ HEUTE	2
DER ZWECK DES FIZ.....	2
FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE DES FIZ.....	2
<u>ÜBERBLICK ÜBER EINZELNE LABORS</u>	<u>3</u>
FESTIGKEITS- UND WERKSTOFFPRÜFUNGLABOR	3
LICHTLABOR	3
HALOGENLICHT	4
XENONLICHT	4
<u>WASSERSTOFF ALS ALTERNATIVES ANTRIEBSKONZEPT</u>	<u>4</u>
DAS WASSERSTOFFZEITALTER	4
ZUKUNFT UND PROBLEMATIK DES EINSATZES FOSSILER KRAFTSTOFFE.....	4
HERSTELLUNG SPEICHERUNG VON WASSERSTOFF	6
UNTERSCHIEDLICHE ANTRIEBSKONZEPT.....	6
FLÜSSIGWASSERSTOFF	6
BRENNSTOFFZELLE.....	7
TANKSTELLEN.....	8
CLEAN ENERGY WORLD TOUR 2001	9
DUBAI	9
BRÜSSEL.....	10
MAILAND	11
TOKIO.....	11
L.A.....	12
BERLIN	13
<u>BMW UND VERKEHRSENTWICKLUNG IN MÜNCHEN.....</u>	<u>13</u>

WAS IST DAS FIZ?

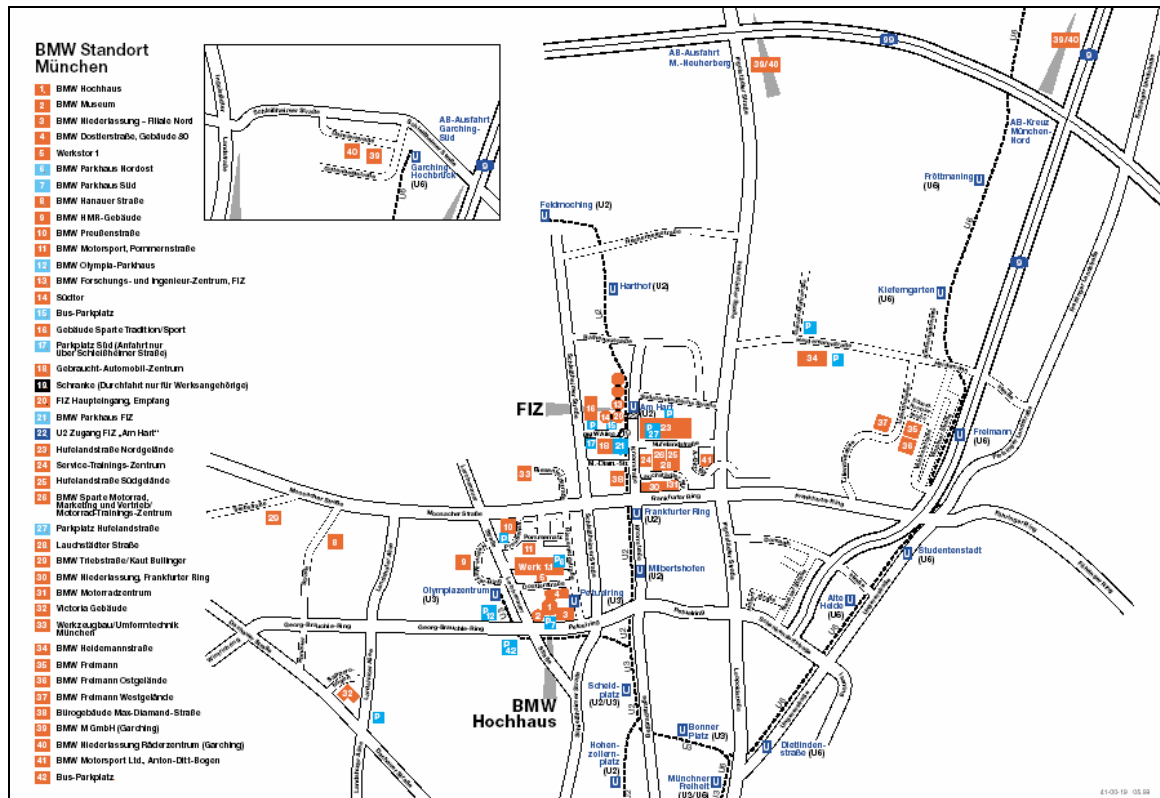
VORGESCHICHTE ZUM FIZ

Das Forschungs- und Innovationszentrum – vormals Forschungs- und Ingenieurzentrum – des Automobilherstellers BMW in München war die erste Station der 2-tägigen Exkursion Verkehrsplanung.

BMW hat seinen Firmensitz seit jeher in München, aufgrund des Wachstums des Unternehmens mussten im Laufe der Jahre aber immer neue Betriebsstandorte vorerst in München, später auch in ganz Bayern, eingerichtet werden. Mit dieser räumlichen Expansion entstanden immer größere Kommunikationsschwierigkeiten innerhalb des Unternehmens, und zwar besonders in Hinblick auf Forschung und Entwicklung. Es wurde z.B. immer umständlicher, neue Ideen der Designer auf ihre technische Umsetzbarkeit hin zu überprüfen, weil die Techniker und Ingenieure schlicht und einfach nicht leicht erreichbar waren.

Vor diesem Hintergrund und aufgrund der Tatsache, dass der Forschungs- und Entwicklungsbereich immer mehr an Bedeutung im Konkurrenzkampf der Automobilbranche gewann, entschloss sich die Unternehmensleitung bereits 1970, die Kompetenzen des Unternehmens zu konzentrieren. Dies führte schließlich zur Gründung des Forschungs- und Ingenieurszentrums FIZ im Norden Münchens. Hier sind heute zwar viele Bereiche räumlich konzentriert, nachstehende Abbildung zeigt jedoch die weiterhin zersplitterte Standortsituation in München.

Abbildung 1: Verzeichnis der BMW-Standorte in München



DAS FIZ HEUTE

Die Größe des FIZ entspricht heute in etwa der des Produktionsstandortes in München, der täglich ca. 800 Fahrzeuge herstellt (BMW produziert täglich in Bayern rund 3.000 Fahrzeuge in den Werken München, Regensburg und Augsburg). Trotzdem bestehen bereits Erweiterungspläne, die Möglichkeiten am derzeitigen Standort sind allerdings beschränkt. Vermutlich wird man in Zukunft von der bisherigen Linie mit drei bis vier Geschoßen abgehen und weitere Kapazitäten in der Höhe schaffen.

Derzeit werden rund 6.000 Mitarbeiter im FIZ beschäftigt (in München gesamt 22.000 Mitarbeiter), wobei die Bandbreite der vertretenen Berufe vom Designer über Ingenieure bis hin zu den Betriebswirtschaftlern und dem Verwaltungspersonal reicht. Zusätzlich sind auch für die Branche eher exotische Berufe wie Tontechniker, Keramiker oder Lichtdesigner vertreten.

DER ZWECK DES FIZ

Um den wesentlichen Zweck des FIZ, nämlich die Kommunikationsförderung und damit die Effizienzsteigerung in der Forschung und Entwicklung, bestmöglich zu erreichen, wurde bereits in der Architektur besonders darauf Rücksicht genommen: Die einzelnen Gebäude sind intern sehr offen gestaltet, z.B. sitzen Designer direkt neben Ingenieuren, und selbst die einzelnen Gebäude sind durch Gänge in Höhe des ersten oder zweiten Geschoßes miteinander verbunden, um es „der Kommunikation so bequem wie möglich“ zu machen. Es gibt viele und ansprechend gestaltete Kommunikationsräume, die Cafeteria ist z.B. einer der wichtigsten Bestandteile im Konzept des FIZ.

Daneben sind alle wesentlichen Entwicklungslabors und Werkstätten für die Anfertigung von Prototypen auf demselben Gelände. Ergebnisse der Computersimulationen z.B. in den Tontechniklabors können so direkt umgesetzt und überprüft werden. Technische Entwicklungsabteilungen, Windkanalanlagen und Lichtlabor sind weitere Einrichtungen des FIZ, deren Entwicklungsergebnisse rasch zusammengeführt werden können. Wird schließlich ein Prototyp gebaut, stehen alle Prüfstände zur Verfügung, um die Praxistauglichkeit der Einzelteile wie dem gesamten Entwicklungsprojekt zu testen.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE DES FIZ

Wesentlicher Forschungsschwerpunkt im FIZ sind z.B. neue Werkstoffe, die erhöhte Stabilität und Lebensdauer mit Gewichtseinsparungen verbinden sollen. Gleichzeitig müssen die Ergebnisse auch wirtschaftlich einsetzbar sein. Weiters ist der Bereich der Mechatronik Arbeitsfeld im FIZ. Unter Mechatronik wird die Kombination mechanischer Systeme mit elektronischer Steuerung verstanden, die in der Automobilbranche ein besonders vielversprechendes Entwicklungsgebiet darstellt.

Besondere Rolle spielt bei BMW auch die Entwicklung alternativer Kraftstofftechnik, und hier wiederum besonders die Wasserstofftechnik. Auf dieses Thema wird im Abschnitt „Wasserstoff als alternatives Antriebskonzept“ näher eingegangen.

Wie in vielen Technikbereichen setzt sich auch in der Automobilbranche jener Forschungsansatz durch, der sich mit den idealen „Problemlösungen“ in der Natur beschäftigt. Beispiele dafür sind die Lotuspflanze, die neue Lösungen in der

Oberflächengestaltung hinsichtlich Selbstreinigung bietet, oder die Struktur der Bienenwaben, deren Sechsecksystem hervorragende Stabilitätseigenschaften aufweist. Insgesamt kann bis heute das Konzept des FIZ als erfolgreich bezeichnet werden. Allein die Entwicklungszeiten für neue Fahrzeuge konnte von früher durchschnittlich sieben Jahre auf drei Jahre gesenkt werden.

ÜBERBLICK ÜBER EINZELNE LABORS

FESTIGKEITS- UND WERKSTOFFPRÜFUNGLABOR

Im Festigkeits- und Werkstoffprüfungslabor des BMW Forschungs- und Innovationszentrums werden Werkstoffe die bei der betriebsinternen Fertigung verarbeitet werden geprüft. Darüber hinaus werden Zulieferteile von Partnerfirmen auf ihre Eignung getestet. Die einzelnen Werkstücke und Bauteile werden unter möglichst realen Bedingungen charakteristischen Betriebsbeanspruchungen ausgesetzt. Es sollen die Bauteileigenschaften unter mechanischen, thermischen oder chemischen Beanspruchungsbedingungen getestet werden. Die Werkstoffprüfung dient der Bewertung der Werkstoffeigenschaften in der Eingangskontrolle, der Produkt- und Fertigungsüberwachung sowie der Aufklärung von Schadensfällen.

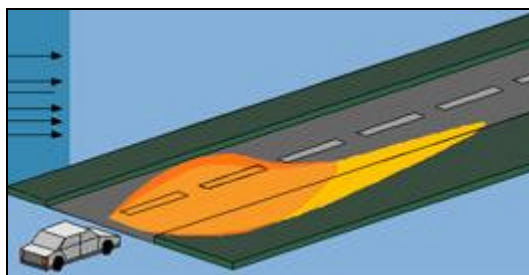
Die Prüfverfahren werden in zerstörende und zerstörungsfreie Verfahren unterteilt. Innerhalb der mechanischen Prüfverfahren nehmen die Festigkeits- und Zähigkeitsprüfungen eine zentrale Stellung ein.

Um Entwicklungskosten zu sparen werden die einzelnen Fahrzeugprototypen vor den Testfahrten einer Gesamtprüfung unterzogen. Auf speziell entwickelten Prüfständen werden die charakteristischen Belastungen die auf das Fahrzeug einwirken in Langzeitversuchen simuliert. Erst wenn der Prototyp diesen Test besteht wird er nach Testfahrten zur Serienreife geführt.

LICHTLABOR

Im Lichtlabor des FIZ werden die Scheinwerfer auf die vom Gesetz vorgeschriebene asymmetrische Lichtverteilung auf der rechten Fahrbahnseite bei Rechtsverkehr und umgekehrt bei Linksverkehr hin untersucht. Überprüft werden Lichtleistung, Lichtverteilung, Lichtfarbe, Fernausleuchtung der Fahrbahn und Reichweite der verschiedenen Scheinwerfer. Um realistische Nachtsituationen auf der Straße simulieren zu können wurde ein Lichtkanal mit typischer Asphaltdecke gebaut.

Abbildung 2: Versuche im Lichtlabor



Quelle: <http://www.hella.com/>

Halogenlicht

Scheinwerfer mit Halogenlicht sind die heute meist verbreiteten Systeme in der Automobilindustrie. Halogenglühlampen enthalten ein Gasgemisch, in dem sich Halogenverbindungen (meist Jod- oder Bromverbindungen) befinden. Sie sorgen dafür, dass sich die Glühwendel durch komplizierte Transportprozesse gewissermaßen regenerieren. Durch diesen Vorgang bleibt die Lichtleistung der Halogenglühlampe über die gesamte Lebensdauer annähernd konstant. Trotz der beschriebenen chemischen Transporte innerhalb der Glühlampe verbraucht sich der Wolframdraht langsam und begrenzt somit die Lebensdauer.

Xenonlicht

Die Gasentladungslampen dieser Scheinwerfer sind Lichtquellen, bei denen das Licht nicht durch einen glühenden Metallfaden, sondern durch einen Lichtbogen zwischen zwei Elektroden in einem linsengroßen, mit Edelgasen gefüllten Hohlraum aus Quarzglas erzeugt wird.

Zur Unterstützung des besseren Sehens gelang der Industrie mit der Einführung der Xenon-Scheinwerfer ein entscheidender Schritt nach vorn, da diese vor allem in dem wichtigen Sehbereich bis 50m vor dem Fahrzeug für eine gute Fahrbahnausleuchtung sorgen und somit den Fahrkomfort für den Fahrer und die aktive Sicherheit wesentlich erhöhen.

WASSERSTOFF ALS ALTERNATIVES ANTRIEBSKONZEPT

Dieser Abschnitt des Exkursionsberichts arbeitet ein Thema auf, das beim Besuch des FIZ kurz angesprochen wurde – Wasserstoff als alternatives Antriebskonzept. Der Abschnitt wurde ausführlicher ausgearbeitet, da in Zukunft dieses Thema eine wesentliche Herausforderung für die Automobilindustrie darstellt.

DAS WASSERSTOFFZEITALTER

Zukunft und Problematik des Einsatzes fossiler Kraftstoffe

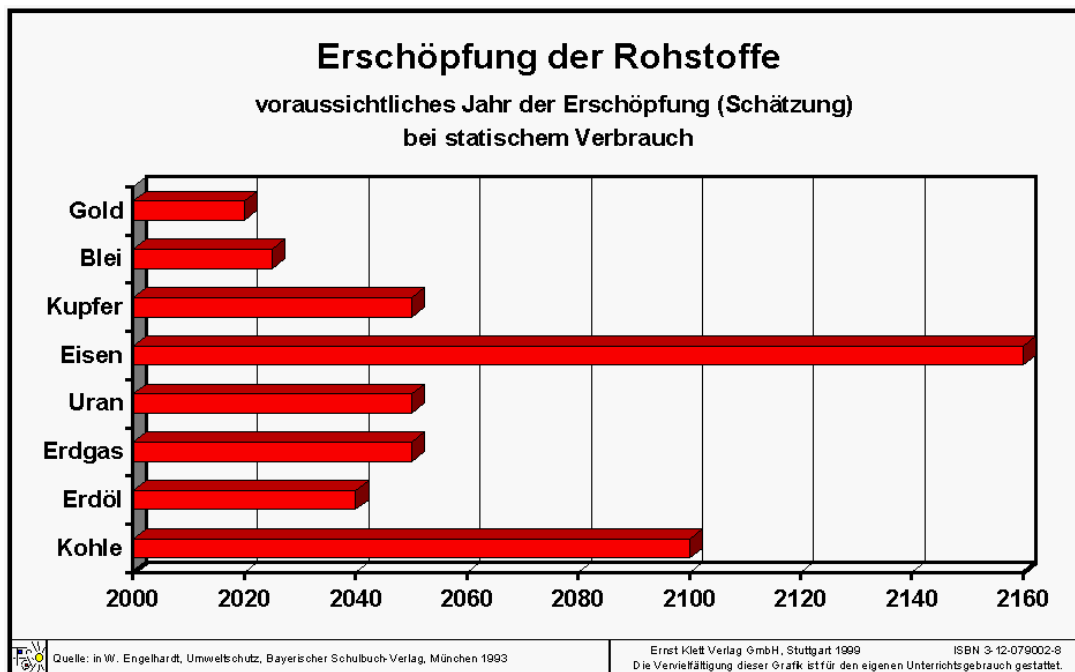
Fossile Rohstoffe bilden heute in vielen Ländern die Grundlage für die wirtschaftliche Entwicklung. Mit der vorwiegenden Nutzung fossiler Energieträger in Verbrennungskraftmaschinen trägt der Verkehr maßgeblich zur Verschärfung zweier Problemkomplexe unserer Industriegesellschaft bei, in dessen Bewusstsein die Bemühungen zur Nutzung von alternativen Kraftstoffen verstärkt in den Vordergrund rücken:

- ⇒ Mobilität ist ein energieintensives Gut und trägt zur Ressourcen-verknappung bei,
- ⇒ Umweltbelastung durch die Verstärkung des Treibhauseffektes und der Ozonbelastung.

Der Rückgang der Fördermengen von Erdöl, der aus den immer schwieriger werdenden Förderungstechniken der verbleibenden Rohölreserven resultiert, wird nach Aussagen der Geologen Colin J. CAMPPELL und Jean H. LAHERRÈRE bereits vor dem Jahr 2010 beginnen¹. Deshalb sollten die Industrieländer beginnen, in die Herstellung von alternativen Treibstoffen zu investieren.

¹ Vgl. CAMPPELL, LAHERRÈRE, 1998, S. 79.

Abbildung 3: Erschöpfung der Rohstoffe



Für den gegenwärtig wichtigsten Primärenergieträger, Erdöl, sind noch für zumindest die nächsten 40-45 Jahre die Reserven gesichert, die man mit den derzeitigen konventionellen Erdölförderungstechniken gewinnen kann. Die Anzahl der Jahre bezüglich der Erdölreserven wird in verschiedenen Unterlagen genannt, wie auch in der oben dargestellten Abbildung.

Ein weiterer Problemkomplex ist der durch die anthropogenen Emissionen verursachte Treibhauseffekt, der in den letzten Jahren vermutlich zu einer Erwärmung des Erdklimas führte. Es wird angenommen, dass dies u.a. auf die Zunahme an CO₂ in der Atmosphäre zurückzuführen ist. Menschliche Aktivitäten sollen also neben dem natürlichen Treibhauseffekt zu einem zusätzlichen anthropogenen Treibhauseffekt führen. Kohlendioxid, das am stärksten für den anthropogenen Treibhauseffekt verantwortlich gemacht wird, entweicht bei der Verfeuerung von Kohle, Öl und Gas in solchen Mengen, dass es nicht mehr natürlich gebunden werden kann.

Bereits Rudolf Diesel, der seinen Motor auf der Pariser Weltausstellung im Jahre 1900 mit Erdnussöl vorstellte, schrieb 1912 in seiner Patentschrift: „Der Gebrauch von Pflanzenöl als Kraftstoff mag heute unbedeutend sein. Aber derartige Produkte können im Laufe der Zeit ebenso wichtig werden wie Petroleum und diese Kohle-Teer-Produkte von heute

Seitens der Automobilindustrie werden seit einiger Zeit Forschungsarbeiten forciert, welche Antriebstechniken im Straßenverkehr optimieren und dabei insbesondere den spezifischen Verbrauch reduzieren sowie die Emissionsbilanz verbessern. Neben konventionellen Optionen spielen dabei in wachsendem Umfang auch alternative Konzepte bei Antrieben und Energieträgern eine Rolle.

Nahezu alle Automobilkonzerne befassen sich mit der Fragestellung nach neuen alternativen Antriebskonzepten, wobei sich vermehrt herausstellt, dass Wasserstoff „der ideale Kraftstoff für das nächste Jahrtausend“² sei.

² <http://www.bmwgroup.com/>; abgefragt Jänner 02.

Herstellung Speicherung von Wasserstoff

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um Wasserstoff herzustellen. Man kann ihn herstellen, indem man Wasser durch Elektrolyse in seine Elemente Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Die Energie, die für die Elektrolyse nötig ist, gewinnt man dabei aus regenerativen Energien damit sich die Herstellung überhaupt rentiert. Dafür werden speziell von BMW Großprojekte angedacht, wo man entlang dem Sonnengürtel in Wüsten Solarkraftwerke realisieren möchte, die den Strom für die Herstellung von Wasserstoff bereitstellen.

Bei der Entwicklung solcher Solarkraftwerke in Wüsten stieß man jedoch auf verschiedene Fragen, die in nächster Zeit zu klären sind. Einerseits befürchtet man, dass Sandstürme die Photovoltaikzellen beschädigen und deren Effizienz deutlich herabsetzen. Diese Befürchtung gewinnt an Bedeutung unter dem Aspekt, dass Photovoltaikanlagen nach dem Stand der Technik ohne negative Rahmenbedingungen noch keine hohen Wirkungsgrad aufweisen. Ein weitere offene Frage ist die nach dem für die Elektrolyse notwendigen Wasser. In den Wüstenregionen ist das „blaue Gold“ Mangelware, weshalb man lange Wasserpipelines in diese Gebiete legen müsste.

Der Transport des gewonnenen Wasserstoffs aus diesen Regionen wäre sowohl in gasförmigen als auch in flüssigen Zustand möglich. Die Speicherung und der Transport flüssigen Wasserstoffs stellt sich jedoch als sehr energieintensiv dar, weil Wasserstoff erst ab Temperaturen von -253 °C kondensiert. Für den Transport bzw. die Speicherung von gasförmigen Wasserstoff könnte man theoretisch auf bestehende Infrastruktur zurückgreifen. Die derzeitigen Erdgaspipelines wären für den Transport über längere Strecken geeignet. Aber auch der Transport per Schiff wäre auch möglich. Die Speicherung von gasförmigen Wasserstoff ist unter Druck ohne größere Probleme möglich.

Wasserstoff muss aber nicht zwingend in elementarem Zustand transportiert werden. Es besteht auch die Möglichkeit ihn in wasserstoffhaltigen Verbindungen, wie z.B. Ammoniak oder Methanol, zu speichern, die weniger gefährlich sind. Hierbei muss durch entsprechende Reaktionen der Wasserstoff erst wiedergewonnen werden. Bei der Speicherung in Form von Metallhydriden liegt er pulverartig vor, was den Transport noch einfacher gestaltet³.

UNTERSCHIEDLICHE ANTRIEBSKONZEPTE

Bei der Umsetzung der Antriebkonzepte findet man unterschiedliche Vorgehensweisen und Technologien. So setzen wenige Automobilkonzerne (z.B. BMW) auf den Flüssigwasserstoff als Antriebkonzept, eine Vielzahl der Konzerne verfolgt aber die Technologie der Brennstoffzelle.

Flüssigwasserstoff⁴

BMW zeigt anhand verschiedener Typen der 7er Reihe (745h und 750hL) dass man nahe des Wasserstoffzeitalters angelangt ist. Das Besondere an diesen Fahrzeugen ist die bivalente Auslegung, wodurch das Fahrzeug sowohl mit Benzin als auch mit Wasserstoff betrieben werden kann. Der BMW 745h verfügt über einen Achtzylindermotor, der BMW 750hL über einen 12 Zylindermotor für Wasserstoffbetrieb.

³ www.diebrennstoffzelle.de; abgefragt Jänner 2002.

⁴ www.kerny.de/facharbeit/; abgefragt Jänner 2002

Aufgrund der bivalenten Auslegung ist für jede Kraftstoffart ein komplettes Tank- und Versorgungssystem vorhanden. Mit Wasserstoff betrieben leistet die Maschine des 745h 135 kW (184 PS). Die Höchstgeschwindigkeit liegt bei 215 km/h. Der BMW 750hL bringt eine Leistung von 150 kW (204 PS) und eine Höchstgeschwindigkeit von 226 km/h.

Der zylindrische Wasserstofftank ist immer im Kofferraum integriert und ermöglicht eine Reichweite von 300 bzw. 350 Kilometern. Dazu addieren sich 650 Kilometer Reichweite bei Benzinbetrieb, so dass der 745h rund 1000 Kilometer zurücklegen kann, ohne einmal nachzutanken.

Der Wasserstofftank benötigt aufgrund der Tatsache, dass Wasserstoff erst bei einer Temperatur von -253°C kondensiert, eine sehr effiziente Isolierung.

Der Wasserstoffverbrennungsmotor beim BMW 750hL unterscheidet sich vom Benzinmotor des Basismodells nur durch den Ansaugtrakt mit zusätzlichen Einblasventilen für den Wasserstoff sowie verstärkten Dichtungen. Die Verbrennung des Wasserstoffes erfolgt generell mit Luftüberschuss. Die zusätzliche Luft im Brennraum nimmt Wärme auf und senkt damit die Flammentemperatur, wodurch die Entstehung von klimarelevanten Stickstoffoxiden (NO_x) aus dem in der Luft enthaltenen Stickstoff vermieden wird.⁵

Während konventionelle Batterien mittels Lichtmaschine aufgeladen werden müssen, arbeitet dieses System auf Basis einer PEM (Polymer Electrolyte Membrane) Brennstoffzelle motorenabhängig und wird vom Wasserstofftank gespeist. Auch wenn der Motor nicht läuft, lassen sich so Verbraucher wie Klimaanlage oder Heizung betreiben. Die Brennstoffzelle liefert nicht nur dreimal mehr Leistung als eine Lichtmaschine, sie erzeugt auch nur dann Strom, wenn er von den eingeschalteten Verbrauchern angefordert wird, während die Lichtmaschine permanent mitläuft. Insgesamt ergibt sich so, umgerechnet auf den konventionellen Energieträger Benzin, eine Treibstoffeinsparung von einem Liter pro 100 Kilometern im Stadtverkehr.

Brennstoffzelle

Eine Vielzahl der anderen Automobilhersteller setzt auf die Brennstoffzelle.

In dieser Zelle wird der Prozess der Elektrolyse quasi umgekehrt: Wasserstoff und Luftsauerstoff werden in einer chemischen Reaktion zu Wasser und Strom umgesetzt, der dann einen Elektromotor antreibt.

Andere Hersteller schalten der Brennstoffzelle einen so genannten Reformer vor, in dem der Wasserstoff etwa aus Methanol - wie in Forschungsautos von DaimlerChrysler - oder sogar aus Benzin - wie bei einem geplanten Prototyp von Opel - gewonnen wird. Die Verfechter des Reformers glauben, dass sich der Wasserstoff-Antrieb mit diesem technischen Umweg schneller durchsetzen könnte, da das heutige Tankstellennetz nutzbar wäre.

Außerdem hat man bei der Nutzung von Methanol keine Probleme bei der Gestaltung des Tanks. Wasserstofftanks müssen wesentlich aufwendiger aufgrund der notwendigen niedrigen Temperaturen (-253°C) gestaltet werden.

Wie bereits angesprochen, kann Methanol bei nur geringen Adaptionen der bestehenden Infrastruktur angeboten und im Fahrzeug genutzt werden. In einer ersten Phase kann er zur Streckung fossiler Ressourcen konventionellem Treibstoff beigemischt werden. Heutige

⁵ www.kerny.de/facharbeit/; abgefragt Jänner 02.

Motoren bedürfen hierzu je nach Methanolgehalt nur geringer Adaptionen. Für den Betrieb von Brennstoffzellen muss er allerdings in reiner Form vorliegen, um am Fahrzeug die Abtrennung des gewünschten Wasserstoffs zu ermöglichen. Die Beibehaltung der bestehenden Infrastruktur erkaufte man sich allerdings mit schlechteren Fahrzeugwirkungsgraden (die Reformierung benötigt einen Energieverbrauch von etwa 20 - 25% des Energieinhaltes von Methanol) und größerer technischer Komplexität am Fahrzeug. Dennoch wird diese Lösung vom Daimler-Benz und Volkswagen heute als Lösungsansatz für den individuellen Personenverkehr favorisiert. Wohingegen für Fahrzeuge, die im Flottenverbund betrieben werden und an zentralen Tankstellen betankt werden, Vorteile für eine direkte Nutzung des Wasserstoffs gesehen werden. Hier erscheint der Mehraufwand für die Tankstelleninfrastruktur vorteilhafter als die Komplexitätserhöhung am Fahrzeug.

TANKSTELLEN

Attraktivster Gesichtspunkt für die Nutzung von Methanol bilden neben der hohen Energiedichte die Eigenschaften als flüssiger Energieträger. Da Methanol an konventionellen Zapfsäulen getankt werden kann, sind hiermit die geringsten Infrastrukturaufwendungen verbunden.

Im Gegensatz dazu erfordern Wasserstofftankstellen eigene Zapfsäulen. Im Falle der Druckgasbetankung ist diese identisch mit einer Druckerdbetankungsanlage, wobei in der Bauausführung an den Ex-Schutz höhere Anforderungen gestellt werden. Erste Erfahrungen wurden hier bereits in den achtziger Jahren bei Aral gesammelt. Aral stellte die Betankungseinrichtung im Berliner Daimler-Benz Flottenversuch mit zehn Testfahrzeugen und Metallhydridspeicherung⁶. Heute werden Wasserstoffdruckgastankstellen von den Lieferanten von Erdgastankstellen geplant. Es werden in der Konzeption keine nennenswerten Unterschiede zu Erdgastankstellen gesehen.

Fahrzeuge mit Flüssigwasserstoff benötigen eine eigene Infrastruktur, wobei die Flüssigwasserstofftankstelle einen wesentlichen Baustein darstellt. Waren mit frühen Betankungsanlagen noch Betankungszeiten von mehr als 30 Minuten pro Fahrzeug erforderlich, so erlauben neue Konzepte eine Schnellbetankung bei kaltziehbarer Kupplung innerhalb von etwa 10 Minuten. Zukünftige Entwicklungen zielen vor allem auf eine Kostenreduktion bei Serienfertigung.

Am Münchner Flughafen realisierten mehrere Unternehmen (BMW, Aral, LindeAG, ...) gemeinsam mit dem bayrischen Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie die weltweit erste Wasserstoff-Tankstelle. Die Anlage ist sowohl auf die Betankung mit Flüssigwasserstoff (LH₂) für PKW als auch auf die Betankung mit gasförmigen Wasserstoff für Niederflur-Gelenkbusse ausgelegt. Der Flüssigwasserstoff wird von der Linde AG in Deutschlands einzige Wasserstoffverflüssigungsanlage in Ingolstadt hergestellt und per LKW zur Tankstelle geliefert. Betankt werden die Fahrzeuge an der Tankstelle vollautomatisch. Aral entwickelte einen Tankroboter für konventionelle Kraftstoff, der in Zusammenarbeit mit der Linde AG und BMW auf flüssigen Wasserstoff angepasst wurde. Die Zapfsäule für den gasförmigen Wasserstoff wurde ebenfalls von Aral, jedoch zusammen mit Mannesmann

⁶ W. Zittel, R. Wurster, V. Schurig; Stand und Entwicklung wasserstoffbetriebener Fahrzeuge; Tagungsband des „2. Deutschen Kraftstoff-Kolloquium“, Schriftenreihe Praxis-Forum, S. 85 - 104, 1995.

Demag, entwickelt. Sollte die Betankung mit der Anlage für gasförmigen Wasserstoff aus irgendeinem Grund nicht möglich sein, kann über einen Verdampfer die LH₂-Säule genutzt werden.⁷

Abbildung 4: Wasserstofftankstelle am Münchner Flughafen



Quelle: www.diebrennstoffzelle.de; abgefragt Jänner 2002.

CLEAN ENERGY WORLD TOUR 2001

Dubai

Am 1. Februar startete die Weltreise der BMW Wasserstoffflotte: Erste Station und Ausgangspunkt der "Clean Energy World Tour 2001" war Dubai City, aufstrebende Weltstadt am persischen Golf. Das Ereignis fand unter der Schirmherrschaft seiner Königlichen Hoheit General Sheikh Mohammed Bin Rashid Al Maktoum, Kronprinz von Dubai und Verteidigungsminister der Vereinigten Arabischen Emirate, statt.

Dubai bot sich als idealer Ausgangspunkt für die World Tour an: Das Emirat ist einer der Mittelpunkte für die globale Energieversorgung und gilt als besonders zukunftsorientiert. Erfolgreiche Projekte wie die weltweit erste Internetcity belegen die Innovationskraft des Landes. Zudem richtet Dubai den weltweit höchstdotierten Umweltpreis, den "Zayed International Prize for the Environment", aus. Verschiedene Projekte in den Bereichen regenerative Energien und Umweltschutz wurden bereits in internationaler Kooperation begonnen.

Zumal Dubai im Sonnengürtel der Erde liegt, stieß die Initiative der BMW Group für die regenerative Erzeugung von Wasserstoff hier auf konstruktives Interesse. Vor rund einem Jahr beteiligte sich die BMW Group bereits an der "International Conference and Exhibition on desertification", bei der die wasserstoffbetriebene 7er Limousine zu den größten Attraktionen zählte.

Dr. Mohammed Bin Fahed, Vorsitzender des von Dubai ausgerichteten "Zayed International Prize for the Environment", unterstützt die BMW Clean Energy Strategie: "Es gibt immer deutlichere Belege für die Tatsache, daß Global Warming und Klimaveränderungen die Gesundheit der Menschen und die Natur gefährden und auch die Weltwirtschaft beeinträchtigen. Wenn sich dieser Trend so weiterentwickelt, müssen wir auch im Automobilssektor zu sauberen Energiequellen finden", so Dr. Mohammed. Und er fügt hinzu: "Die Anstrengungen der BMW Group, Wasserstoff als sauberen Energieträger zu nutzen,

⁷ www.diebrennstoffzelle.de; abgefragt Jänner 2002.

werden weltweit von Umweltorganisationen und Institutionen unterstützt. Schließlich reichen die Vorräte an fossilen Energien nicht ewig."

Auch BP, einer der führenden Global Player im Energiesektor und Partner des Dubai Events, sieht die Notwendigkeit, in Zukunft auf Wasserstoff aus erneuerbaren Energien zu gewinnen und engagiert sich deshalb auf der Clean Energy World Tour 2001. Denn nur mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff sind CO₂-Emissionen, denen ein bedeutender Einfluß auf das Weltklima zugeschrieben wird, nachhaltig einzuschränken.

Neben BP nahm auch das deutsche Unternehmen Linde AG als weltweit operierender Lieferant von Wasserstoff am Dubai Event teil. Linde ist nicht nur Entwicklungspartner der BMW Group für die Tanksysteme, sondern stellt für die Clean Energy World Tour 2001 auch den flüssigen Wasserstoff und die Betankungseinrichtungen zur Verfügung.

Brüssel

Mit einem eindringlichen Appell an die Europapolitik setzte sich Prof. Dr.-Ing. Joachim Milberg, Vorsitzender des Vorstands der BMW AG, für die Einführung von Wasserstoff als Kraftstoff ein: "Wenn es erklärtes Ziel der Politik ist, auf umweltfreundliche Mobilität zu setzen, dann benötigen wir auch politische Unterstützung, bis dieser Kraftstoff auf dem Markt etabliert ist." Nur mit einer klaren Entscheidung für regenerativ erzeugten Wasserstoff als dem einzigen nachhaltigen Energieträger könne Europa auch im Energiesektor die Technologieführerschaft übernehmen.

Professor Joachim Milberg traf auf der zweiten Station der BMW "Clean Energy World Tour 2001" mit der Vizepräsidentin der Europäischen Kommission Loyola de Palacio zusammen, die als EU-Kommissarin für Energie und Verkehr zuständig ist. In dem unter ihrer Federführung erstellten "Grünbuch zur Europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit" wird Wasserstoff - sofern er aus erneuerbaren Energien hergestellt wird - als Energieträger der Zukunft bezeichnet. "Dank des Wasserstoffs könnte der Transportsektor einen neuen Markt für die erneuerbaren Energien entstehen lassen", so Loyola de Palacio. "In diesem Zusammenhang muß die technologische Innovation einen aktiven Beitrag leisten zur Sicherung nachhaltiger Mobilität." Nur mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff sind CO₂-Emissionen, denen ein bedeutender Einfluß auf das Weltklima zugeschrieben wird, nachhaltig einzuschränken. Darüber hinaus nahm auch Klaus Töpfer, Direktor des United Nations Environment Programme (UNEP), an der Clean Energy Veranstaltung der BMW Group teil und unterstützt damit die Ziele von BMW. So sagen die jüngsten Veröffentlichungen des UN-Gremiums Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) weitere gravierende Veränderungen im Weltklima voraus. Dies sei eine Entwicklung, die "in allen Hauptstädten und in jeder Gemeinde die Alarmglocken klingeln lassen sollte", so Töpfer. Mit den Wasserstoffautos der BMW Group stehe eine technische Lösung der CO₂-Problematik im mobilen Sektor bereit.

Das von BMW in Brüssel vorgestellte 4Punkte-Programm umreißt Professor Milberg so: "Wir benötigen stabile und langfristig verlässliche Rahmenbedingungen. Denn nur mit klaren politischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Vorgaben sowie international standardisierten Sicherheitsvorschriften und Zulassungsverfahren wird die Industrie die

nötigen Investitionen tätigen können." Auch der Forschungsförderung räumt der Vorstandsvorsitzende der BMW Group hohe Priorität ein: "Wir sind zuversichtlich, daß Wasserstoff im Rahmen des 6. Forschungsrahmenprogramms der EU eine wichtige Rolle spielen wird." Zu den weiteren Vorschlägen der BMW Group gehört, den Wasserstoff gerade in der Einführungsphase steuerlich nicht zu belasten. Nach Berechnungen eines internationalen Mineralölkonzerns könnten mit nur einem Prozent der Ökosteuer sofort 100 Tankstellen in Deutschland auf Wasserstoff umgerüstet werden.

In puncto Sicherheit hat BMW bereits gründliche Vorarbeit geleistet und in sorgfältigen sicherheits-analytischen Studien, Labor- und Feldexperimenten sowie Crashtests vorweggenommen, was später im alltäglichen Umgang mit dem Energieträger Wasserstoff auftreten könnte. Ergebnis: Der Umgang mit Wasserstoff ist nicht gefährlicher als der mit Benzin. Mittlerweile hat die Flotte der BMW Wasserstoff--Fahrzeuge weit über 100.000 Kilometer ohne Probleme zurückgelegt.

Mailand

Die Wasserstoff-Welt nimmt Formen an: Mit Mailand, der dritten Station der Clean Energy World Tour 2001, wird eine weitere europäische Metropole bald ihre erste Wasserstofftankstelle eröffnen. Eine entsprechende Vereinbarung trafen das italienische Energieunternehmen AEM SpA und BMW anlässlich der Clean Energy World Tour 2001, die am 21. März in dem norditalienischen Zentrum zu Gast war.

Mailand engagiert sich als eine der führenden Städte in Italien für die Verringerung der CO₂-Emissionen und setzt dabei langfristig auf Wasserstoff als Energieträger. Das Energieunternehmen AEM SpA betreibt dort ein 1,3-Megawatt-Kraftwerk, in dem mittels Brennstoffzellen aus Wasserstoff Strom erzeugt wird. Auf dem Gelände dieses Kraftwerksbetreibers wird die erste Wasserstofftankstelle in Italien entstehen. Damit wird eine weitere europäische Großstadt in die Wasserstoff-Zukunft eintreten: Bislang verfügen nur zwei Städte, nämlich Hamburg und München, über Wasserstofftankstellen. Die gleichzeitig erste vollautomatische Robot-Tankstelle der Welt in München wurde auf Initiative und mit Unterstützung der BMW Group gebaut und hat mittlerweile ihre Alltagstauglichkeit bewiesen.

Mit BP und Linde haben sich zwei führende Unternehmen der Wasserstoffentwicklung der Clean Energy World Tour 2001 angeschlossen. BP sieht sich insbesondere der CO₂-Verringerung verpflichtet und favorisiert Wasserstoff ebenfalls als einzige Lösung einer Zukunftsenergie mit unbeschränkter Verfügbarkeit. BP wird sich im Rahmen des von der EU-Kommission initiierten 10-Städte-Wasserstoffprogramms am Aufbau von fünf weiteren Wasserstofftankstellen beteiligen. Linde ist nicht nur Entwicklungspartner der BMW Group für die Tanksysteme, sondern stellt für die Clean Energy World Tour 2001 auch den flüssigen Wasserstoff und die Betankungseinrichtungen zur Verfügung.

Tokio

Der BMW 750hL ist das erste in Kleinserie gebaute Wasserstoffauto, das auf japanischem Boden fährt. Ab dem 31. Mai 2001 ist die Clean Energy World Tour 2001 zu Gast in Tokio.

Die Clean Energy World Tour repräsentiert die gemeinsamen Zielsetzungen Japans und der BMW Group beim Thema Wasserstoff und ist ein eindeutiges Bekenntnis zu den Klimazielen des Kyoto-Protokolls.

Nur durch den Einsatz von Wasserstoff als Energieträger können die Ziele der Konferenz von Kyoto erfüllt werden. Dort wurde unter anderem die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen der Industrieländer um mindestens fünf Prozent gegenüber 1990 bis spätestens 2012 festgeschrieben.

Dr. Burkhard Göschel, Entwicklungsvorstand der BMW Group: "Die Problematik der CO₂-Emissionen, denen ein bedeutender Einfluß auf das Weltklima zugeschrieben wird, zwingt die Menschheit zur Nutzung kohlenstofffreier Energieträger. Wasserstoff ist dieser Energieträger; in einem unendlichen Kreislauf kann er aus Wasser gewonnen werden und bei der Verbrennung wieder zu Wasser umgewandelt werden."

Die Clean Energy World Tour 2001 hat nicht nur weltweit großes Interesse erregt, sondern mittlerweile auch zwei internationale Auszeichnungen erhalten: Die BMW Group erhielt den "Energy Globe" für ihr Energiekonzept, das maßgeblich zur Energieeinsparung und zur Nutzung erneuerbarer Energien beiträgt. Die BMW Group erhielt in diesem Wettbewerb als erster und einziger Automobilhersteller einen Sonderpreis für das Wasserstoffprojekt. Im Mai wurde das Clean Energy Engagement mit dem "Innovationspreis Energie 2001" ausgezeichnet. Der Preis geht an die innovativste Idee im Energiebereich und wird alljährlich vom Institute for International Research Deutschland vergeben.

L.A.

Mit der fünften Station der Clean Energy World Tour 2001 präsentiert die BMW Group die Wasserstoffautos mit Verbrennungsmotor im Mutterland der Emissionsgesetzgebung. Die Tankstelle im BMW Engineering and Emissions Control Test Center im kalifornischen Oxnard, unmittelbar vor den Toren der Millionenstadt, soll den Grundstein für die Einführung von Wasserstoff als Fahrzeugtreibstoff der Zukunft in Kalifornien und den USA legen. Dazu Dr. Burkhard Göschel, Vorstandsmitglied für Entwicklung und Einkauf der BMW Group: "Wir Automobilhersteller können hier in Kalifornien unsere Strategie am wirkungsvollsten darstellen. Denn hier sind Ökologie und Energie im Bewußtsein der Bürger und der Politiker stärker verankert als anderswo." Der Entwicklungschef der BMW Group traf deshalb auch mit Dr. Allan Lloyd, Chairman des CARB (California Air Resources Board), zusammen. Das CARB ist für die weltweit anspruchsvollsten Luftreinhaltungs-Vorschriften in Kalifornien verantwortlich und unterstützt deshalb den neuen Energieträger Wasserstoff eindeutig.

Los Angeles ist gezielt die fünfte und letzte internationale Station der Clean Energy World Tour 2001: Es ist die größte Metropole des in Sachen Luftreinhaltung stark engagierten US-Bundesstaates Kalifornien. Gerade dort könnten die weit entwickelten und auf bewährter

Technik basierenden BMW Wasserstoff-Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor einen schnellen und wirkungsvollen Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität leisten.

Einige der BMW 750hL Modelle, deren Zwölfzylindermotor für Wasserstoffbetrieb vorgesehen ist, bleiben deshalb zu ausgedehnten Versuchen, Tests und Demonstrationen im BMW Emissions-Testzentrum Oxnard stationiert. "Aber es geht uns auf dieser Clean Energy World Tour 2001 um mehr: Wir wollen für den Wasserstoff werben und neue strategische Partnerschaften für die breite Markteinführung des Wasserstoffs gewinnen - und zwar gerade auch außerhalb der Automobilindustrie", so Dr. Göschel. Weitere Gespräche stehen deshalb mit hochrangigen Vertretern von Finanzwirtschaft und Energieindustrie an.

Berlin

Berlin war am 11. Mai 2000 der Ausgangspunkt für den Einsatz der BMW 750hL Wasserstoff-Flotte bei der EXPO 2000. Auf der anschließenden Clean Energy World Tour 2001 stellte die BMW Group ihre Vision von einer künftigen Wasserstoff-Wirtschaft politischen Meinungsbildnern in fünf Metropolen auf drei Kontinenten vor.

Am 8. November 2001 kehrten die Fahrzeuge wieder nach Berlin zurück. In der Hauptstadt zog die BMW Group eine Bilanz der wichtigsten Ergebnisse der Clean Energy World Tour 2001 und machte so den ersten Schritt in das Wasserstoff-Zeitalter. Denn neben den Ergebnissen wurde bei der Veranstaltung, bei dem auch Bundeskanzler Gerhard Schröder anwesend war, die seriennahe Studie BMW 745h vorgestellt.

BMW UND VERKEHRSENTWICKLUNG IN MÜNCHEN

Der Stadtentwicklungsplan für München (Perspektive München 1998) hat das Leitbild „kompakt-urban-grün“ Um diesem Ziel zu entsprechen wird im VEP (Verkehrsentwicklungsplan 2000) eine nachhaltige Siedlungs- und Verkehrsentwicklung angestrebt und die Leitlinie „Erhaltung und Verbesserung der Mobilität für alle Verkehrsteilnehmer – stadtverträgliche Verkehrsbewältigung“ entwickelt.

Eine Bestandsaufnahme des Verkehrs in München zeigt, dass der Kfz- Bestand in den vergangenen Jahren weiter angestiegen ist. In München sind 2001 840.000 Kfz gemeldet, im Umland weitere 890.000 Kfz. Knapp 1 Mio. Fahrzeuge überqueren täglich die Münchner Stadtgrenze in beiden Richtungen. Mit dem innerstädtischen Binnenverkehr werden in München mehr als 20 Mio. Kfz-km pro Tag zurückgelegt.

Hauptproblem in den gemischt genutzten Vierteln innerhalb des Mittleren Rings ist der ruhende Verkehr. Mit Parkraumbewirtschaftung und Anwohnergargen versucht man dem Problem zu begegnen.

Eine wesentliche Säule für Münchens Verkehr stellt der öffentliche Verkehr dar. Der Münchner Verkehrsverbund MVV vereint 50 Verkehrsunternehmen unter seinem Dach. Die Verkehrsmittel im MVV-Raum befördern täglich ca. 1,8 Mio. Menschen.

Die BMW AG gehört zu den wichtigsten Industriebetrieben der Landeshauptstadt München. Ihre Bedeutung für den Arbeitsmarkt der Region ist enorm. Naturgemäß sind die verkehrspolitischen Ziele eines Automobilherstellers schwerpunktmäßig im motorisierten Individualverkehr. BMW gibt auf seiner Homepage die Erhaltung der Funktionsfähigkeit des „System Straße“ als vorrangiges Ziel an und prägte aber auch den Satz „Je mehr man sich dem Herzen der Altstadt nähert, desto größer muss der Anteil des Öffentlichen Personennahverkehrs werden.“

Im September 1995 wurde in Inzell unter dem Motto "Verkehrsprobleme gemeinsam lösen" eine Plattform verabschiedet, die zu konkreten Projekten und einem Maßnahmenbündel weiterentwickelt wurde. Mittlerweile finden diese Arbeiten innerhalb des Forschungsprojektes MOBINET (Mobilität in Ballungsräumen), das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützt wird, statt. Lösungsansätze sollen konkret umgesetzt und in Demonstrationen hinsichtlich ihrer Wirkung bewertet werden.

Diesem Inzeller Kreis gehören Vertreter der BMW Group, der Referate der Landeshauptstadt München und des Freistaates Bayern, der Technischen Universität München sowie der Wirtschaftsverbände an. Den größten Finanzierungsbeitrag der Konsortialpartner leistet neben der öffentlichen Hand die BMW Group.

Große Hoffnungen die anstehenden Verkehrsprobleme in den Griff zu bekommen werden in innovative Telematikanwendungen die Kombinationen von Telekommunikation und Informatik, gesetzt.

Als aktuelles Projekt soll jetzt für München ein 2,54 Mio. € teures Parkleitsystem vom Stadtsenat abgesegnet werden.

Grundsätzlich ist die von München praktizierte Verkehrspolitik, bei der sich alle wichtigen Partner gemeinsam um Lösungen bemühen zu begrüßen. Nicht vergessen werden darf, dass die so definierten Ziele natürlich lediglich den kleinste gemeinsame Nenner der verschiedenen Interessensgruppen darstellen. Vorrangig werden Maßnahmen umgesetzt, die von allen gebilligt werden und daher oft wenig radikal sind.