

Pioniere

des

Betondeckenbaus



Opel Hochgeschwindigkeitsstrecke aus dem Jahr 1919

Pioniere des Betondeckenbaus

Die Opel Hochgeschwindigkeitsstrecke aus dem Jahr 1919

1. Prolog

Mitten im Waldgebiet „Schönauer Hof“, zwei Kilometer südlich von Rüsselsheim, sind Reste einer Hochgeschwindigkeitsrennstrecke des Autoherstellers Opel aus dem Jahr 1917/19 zu finden. Der ellipsenförmige Rundkurs war als Einfahr-, Test- und Rennstrecke mit einer Querneigung von bis zu 32° (!) in Betonbauweise geplant. Der Bau begann noch in der Mangelzeit des ersten Weltkrieges, die Eröffnung erfolgte 1920.

2. Historie

Opel in Rüsselsheim begann schon vor dem Ersten Weltkrieg mit der Planung einer Renn- und Teststrecke außerhalb des Werksgeländes und vor den Toren der Stadt. Durch den Beginn des ersten Weltkrieges wurde die Strecke dann aber in erster Linie als Prüfstrecke konzipiert, da die bereits vorhandene Strecke im Rüsselsheimer Firmengelände zu klein geworden war. Der Bau einer reinen Rennbahn mitten in den Kriegsjahren wäre auch als absoluter Luxus vollkommen undenkbar gewesen.

Für die neue Prüfstrecke gab es zwei Gründe, einer davon war paradoxerweise der Krieg. Mit zunehmender Dauer wurde der Bedarf an Fahrzeugen immer größer, die kleine Werksbahn wurde mit dem Ansturm der vielen zu prüfenden und einzufahrenden Fahrzeuge nicht mehr fertig. Hinzu kam die Tatsache, dass die Fahrzeuge aufgrund immer stärker werdenden Motorisierung und der daraus resultierenden Geschwindigkeit für die kleine Ovalbahn im Werk viel zu schnell geworden waren. Daher wichen Opels Werksfahrer zunächst auf die öffentlichen Straßen aus, was jedoch zu Belästigungen der Straßenanwohner führte.

Die Entstehungsgeschichte der Opel-Bahn zeigt nämlich auch, dass Bürgerinitiativen nicht unbedingt eine Errungenschaft unserer Tage sind. Zu allem Überfluss fanden die Testfahrten in dieser Zeit auch oft noch auf lauten Stahlfeder-

rädern (Gummi war in den letzten Kriegsjahren rar!) statt und erregten zunehmend die Gemüter. Beschwerden der betroffenen Anwohner häuften sich, der Lärm sei unerträglich, die Wäsche auf der Leine und Gemüsebeete würden eingestaubt, gefährlich wäre die Raserei sowieso.

Großherzog Ernst Ludwig von Hessen, der später die Brüder Wilhelm, Heinrich und Carl Opel adelte, zeigte Verständnis für den Unmut der Bürger. Schließlich sah sich die Landesregierung in Darmstadt zum Handeln gezwungen. In der Veröffentlichung eines Behördenerlasses von 1915 hieß es dazu:

“Die hessische Regierung hat den Opelwerken in Rüsselsheim aufgegeben, sich zum Ausprobieren der beinahe versandfertigen Automobile eine Rennbahn anzulegen, da die Verkehrswege zu sehr ruiniert und das Publikum zu sehr gefährdet und belästigt würde, als daß man länger die Raserei auf den Straßen gestatten könne”

(LENNARTZ 1993/SCHNEIDER 1987).

3. Bau der Rennstrecke

Bis Opel die behördliche Auflage erfüllen konnte, vergingen jedoch noch ein paar Jahre. Es waren denkbar schlechte Zeiten für derartige Projekte. Als man 1916 mit der Planung für eine „Einfahrbahn“ begann, war der Erste Weltkrieg voll im Gange, und die allgemeine Versorgungslage im Kaiserreich verschlechterte sich rapide. Dennoch wurde 1917 mit dem Bau begonnen, aber erst mehr als zwei Jahre später, nach Kriegsende, wurde die Versuchs- und Rennbahn fertiggestellt. Erwähnenswert ist noch die Tatsache, dass zu diesem Zeitpunkt dieses Areal mit der Opel Bahn unter französischer Besatzung stand.

Konzipiert wurde die von Carl Opel im Jahre 1916 in Auftrag gegebene Opel-Rennbahn von dem an der TH-Darmstadt diplomierte „Königlich Preußische Geometer II. Klasse“ und Architekt, Jakob Ritzert (1866 – 1939). Dies belegt eine Vielzahl von Plänen der Rennbahn, die den markanten Stempel des Bischofsheimer „Bau-Bureaus“. Über die Berechnung und Baudurchführung gibt es leider keine Unterlagen mehr.

Bemerkenswert ist bei der Bahn die Trassierung. Auf den ersten Blick entspricht die Form einer unsymmetrischen Ellipse, es sind in dieser Bahn keine geraden, und damit ebenen Fahrbahnbereiche vorhanden, siehe Bild 1 und 2.

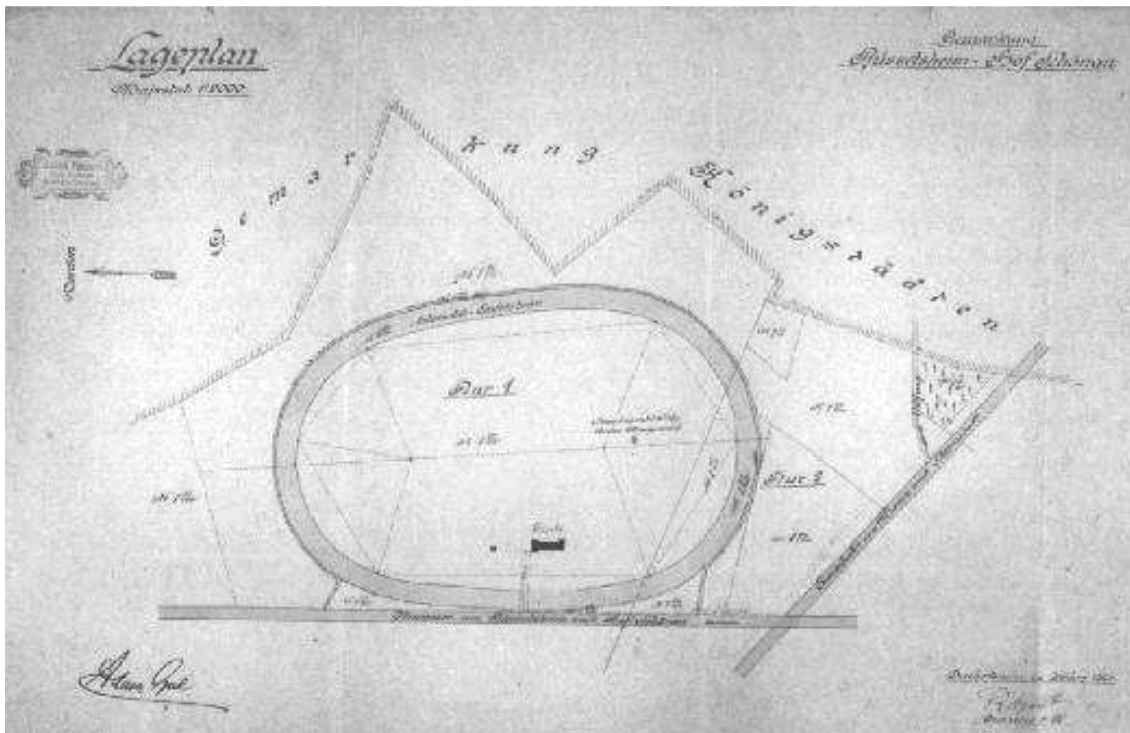


Bild 1: Opel-Bahn Bestandsplan 1920



Bild 2: Opel-Bahn Luftbild 1919

Da der Bau eines solchen Grundrisses extrem kompliziert wäre, jeder Fahr-
 bahnquerschnitt ist ja nur zweimal vorhanden und dadurch wird eine Vielzahl an
 Querschnittsberechnungen und Schablonen für den Bau notwendig, wurden die
 wenigen noch vorhandenen Originalunterlagen nochmals genauer gesichtet und
 die Trassierungselemente nochmals untersucht.

Auch wenn die Form der Rennbahn auf den ersten Blick einer Ellipse entspricht,
 handelt es sich doch um eine Kombination von Kreisbögen. Als die Bahn 1917
 geplant wurde, war die Verwendung der Klothoide als Trassierungselement im
 Straßenbau noch unbekannt. Die Klothoide wurde 1937 erstmals im Straßen-
 bau eingesetzt, bei dem Bau der Reichsautobahnen wurde sie dann ab 1938
 verstärkt verwendet. Aber erst in den 50-er Jahren entstanden Tafelwerke für
 die Trassierung und die Absteckung.

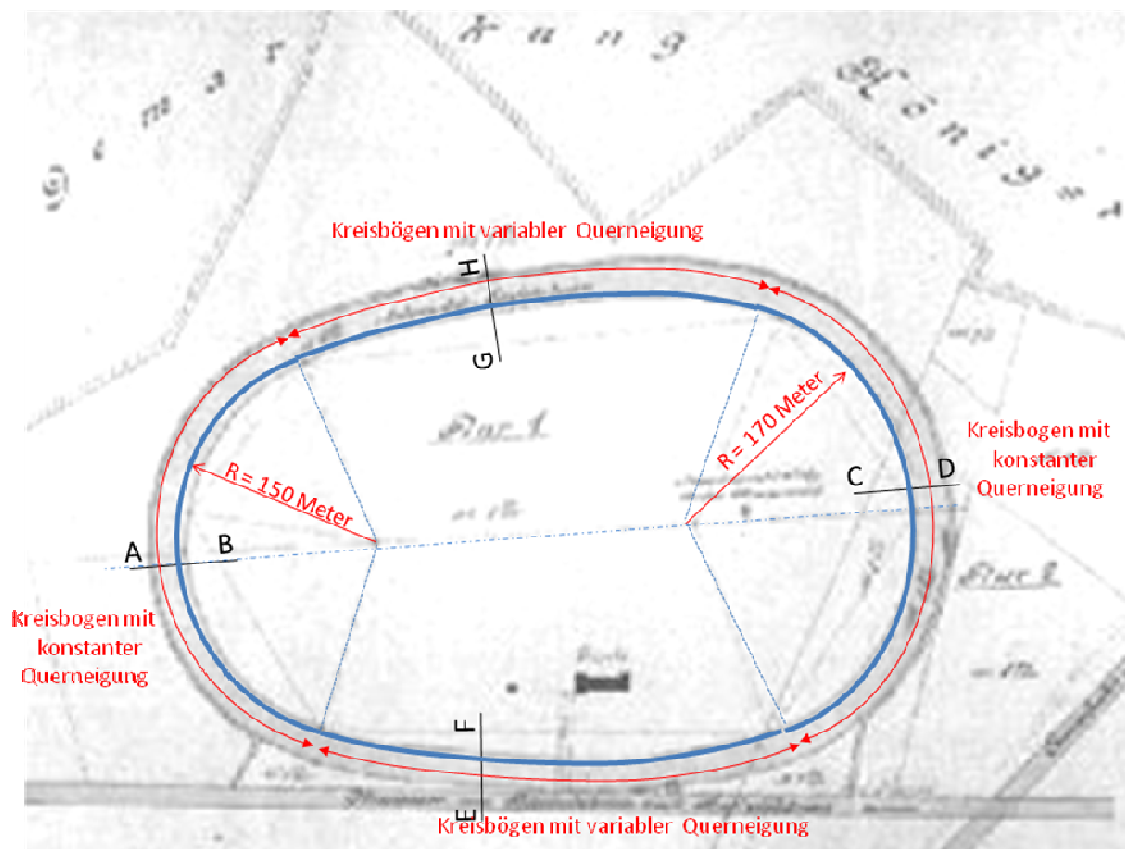


Bild 3: Opel-Bahn Trassierungselement

Es handelt sich um zwei Kreisbögen mit 150 Meter Radius, 32° Querneigung
 (Nordkurve) und 170 Meter Radius, 30° Querneigung (Südkurve) und jeweils
 konstanter Querneigung in diesen Bereichen. Die Übergangsbögen in der Ebene
 und auch der Übergang in die Überhöhung des äußeren Fahrbahnrandes

wurden scheinbar mit mehreren Kreisbögen mit einem mehrfachen des Radius des Kreisbogens trassiert (Korbbogen). Die Herstellung dieses „Übergangsbogens“ erforderte eine Vielzahl von verschiedenen Schablonen. An jeder Arbeitsfuge war eine andere Schablone notwendig, über die der Beton dann abgezogen wurden, um die Profilierung der Fahrbahn im Übergangsbogen von der Ebene in den überhöhten Kurvenbereich zu gewährleisten, siehe Bild 3 und 4.

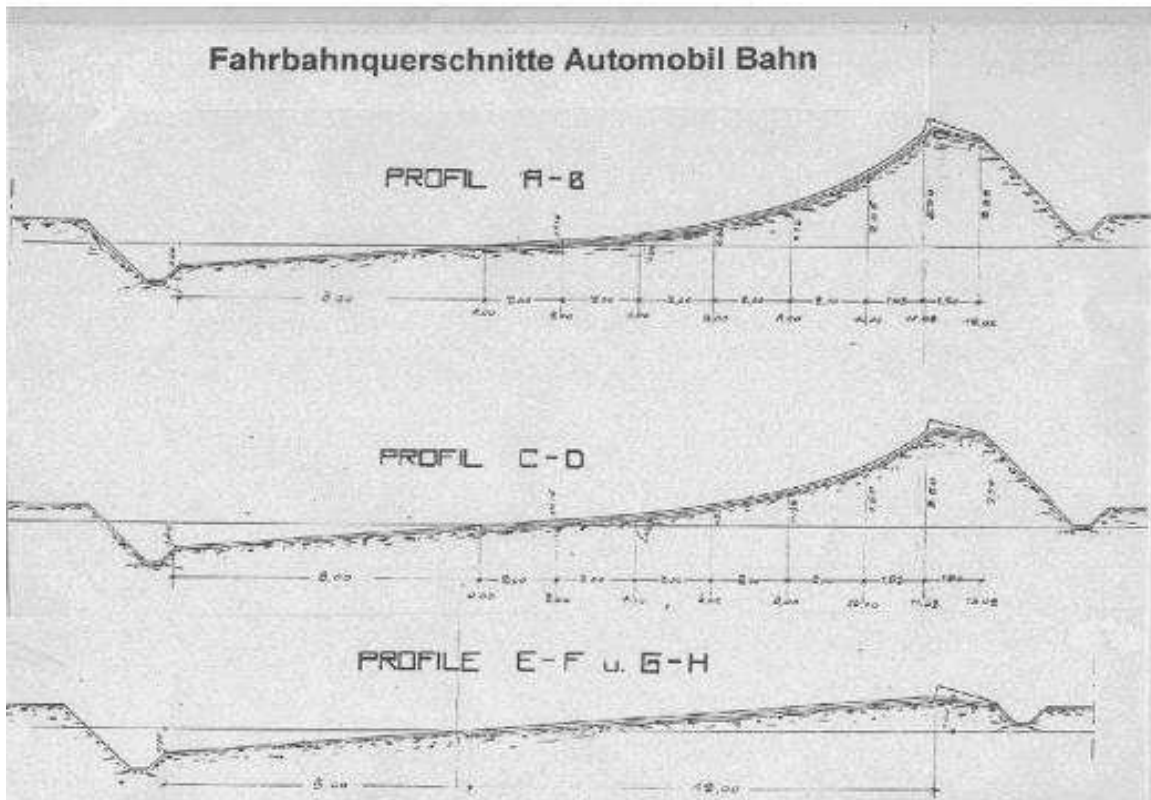


Bild 4: Opel-Bahn Querschnitte Planung 1918

Eine Neuberechnung des Kurvenverlaufs anhand der Querschnittsdaten, siehe Bild 4, ergab eine kubische Parabel mit einem Bestimmtheitsmaß von 1, der idealisierte Querschnittsverlauf ist in Bild 5 dargestellt.

Die Bahn hatte eine Länge von 1,5 km mit einer Bahnbreite von 12 m, daneben verlief im Kurveninneren ein 8 m breiter Sandbahnstreifen als Sicherheitszone.

Der westliche Teil der Bahn verlief ziemlich genau in Nord-Süd-Richtung. Die Kurve an ihrem nördlichen Ende war dagegen enger gezogen als ihr südliches Gegenstück und die „Gegengerade“ beschrieb einen sanften Bogen.

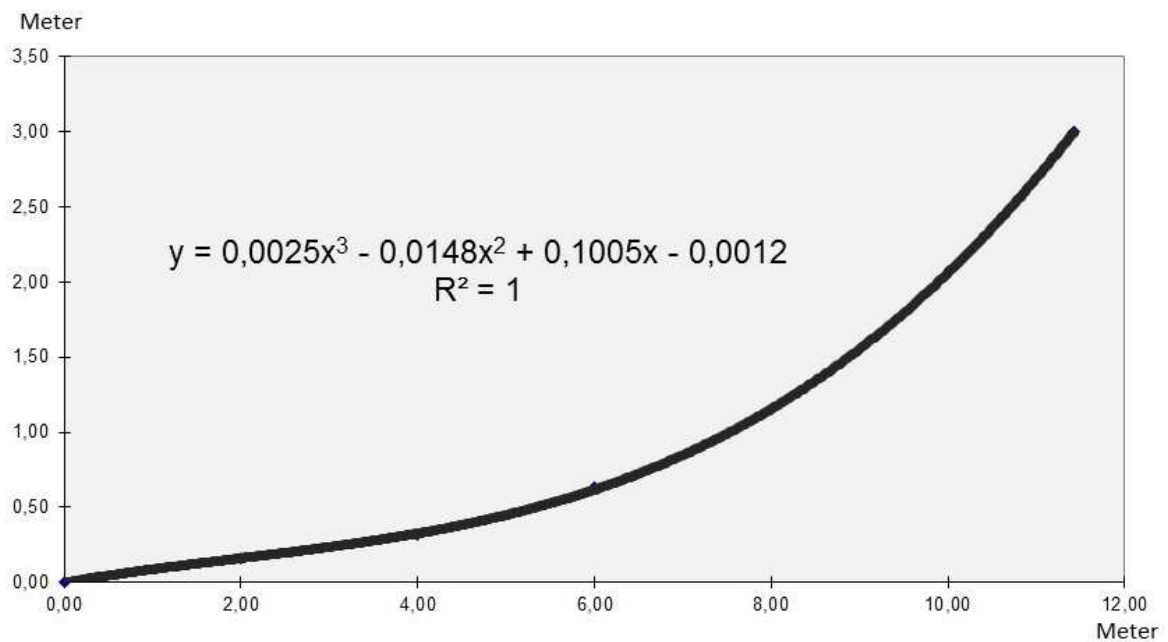


Bild 5: Opel-Bahn Querschnittsberechnung (neu, Maßstab überhöht)

Nach den wenigen noch vorhandenen Unterlagen und Plänen bestand die Fahrbahn aus einer ca. 16 cm starken Betondecke und einer ebenso starken Unterschicht. Ob die Betondecke ein- oder zweilagig konzipiert war lässt sich nicht mehr feststellen. Der Abstand der Längs- und Querfugen betrug ca. 6 m. Den Abschluss des oberen Fahrbahnrandes bildete ein durchgängig umlaufender, stark geneigter „Betonkragen“ von ca. 1,5 m Breite zur Ableitung von Niederschlagswasser. Der obere Fahrbahnrand in den Steilkurven wurde gleichzeitig als Abweiser ausgeführt, wobei die bis 32 ° (62 %) überhöhten Steilkurven Geschwindigkeiten von bis zu 140 Stundenkilometern erlaubten.

4. Veranstaltungen auf der Rennstrecke

Am 24. Oktober 1920 feierte die Rennbahn ihre sportliche Premiere. Der Hessische Automobil-Club und der Wiesbadener Automobil-Club richteten einen kombinierten Wettbewerb für Automobile und Motorräder aus. Die Zuschauerresonanz war für jene Zeiten enorm, mehr als 10.000 Besucher fanden den Weg zum Schönauer Hof. Mit den bei der Eröffnung erreichten Spitzengeschwindigkeiten von bis zu 140 km/h gehörte die Opel-Rennbahn in dieser Zeit

zu den schnellsten Kursen in der Welt, siehe Bild 6. Die Zuschauer hatten das Geschehen stets im Blick. Von den Holztribünen an der Start- und Zielgeraden aus war die gesamte Strecke einzusehen. Hier fuhren die internationalen Asse ihrer Zeit auf Fahrzeugen all jener Marken, die Rennsportgeschichte schrieben. 50 000 Zuschauer waren keine Seltenheit (SCHNEIDER 1987/LENNARTZ 1993).

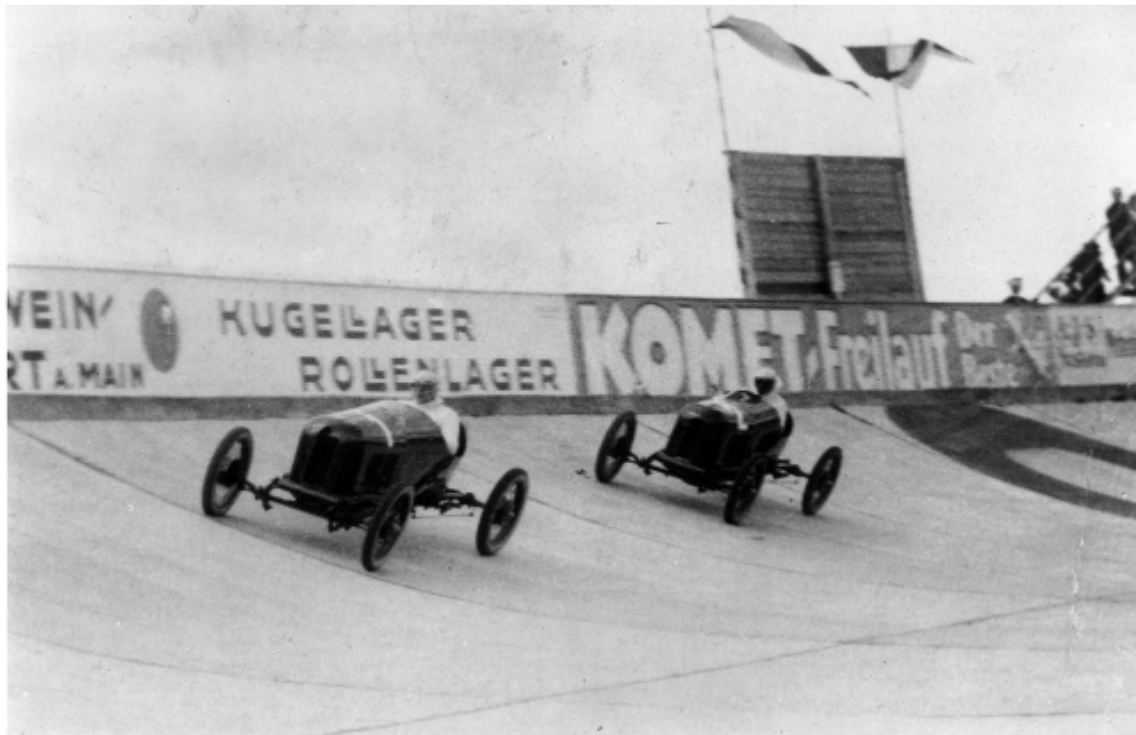


Bild 6: Opel-Bahn 1920

Neben den sportlichen Glanztaten, die auf der Bahn stattfanden, sorgte die Opel-Bahn aber auch anderweitig immer wieder für Aufsehen.

Zwei Ereignisse seien hier erwähnt, eine Opel-Schau im Jahr 1924 und die Versuche mit einem Raketenauto 1928.

Sechs Jahre nach dem Ende des Ersten Weltkriegs zeichnete sich langsam eine Verbesserung der wirtschaftlichen Lage ab. Opel nutzte die Rennbahn zu einer für damalige Zeiten außergewöhnlichen Werbeveranstaltung. Man präsentierte dem Publikum die gesamte Tagesproduktion des Werks, mehr als 100 Exemplare des neuen Modells 4/12 PS, wegen seiner grasgrünen Einheitsfarbe im Volksmund besser bekannt als "Laubfrosch".

1928 fanden die ersten Versuche mit einem raketentriebenen Fahrzeug statt. Bei der offiziellen Vorführung im April 1928 wurde das Fahrzeug Rak 1 innerhalb von 8 Sekunden auf Tempo 100 katapultiert, ein in dieser Zeit unglaublicher Wert. Doch auch hier zeigte sich, dass die Bahn für solche Versuche und extreme Geschwindigkeiten nicht mehr geeignet war. Der Höhepunkt der Raketenversuche fand dann auf der AVUS statt (SCHNEIDER 1987/PATURI 1988).

Die Bedeutung, die der Opel - Rennbahn für die Entwicklung des deutschen Rennsports insgesamt zukommt, ist hoch einzuschätzen. Es handelte sich um die älteste Anlage ihrer Art auf deutschem Boden, auf ihr fand schon über ein Jahr lang regelmäßiger Rennbetrieb statt, bevor die AVUS (Automobil-Verkehrs- und Übungsstraße) im Berliner Grunewald 1921 eingeweiht wurde.

Diese Vorreiterstellung wurde der Opel-Rennbahn jedoch auch zum Verhängnis. Die Bahn entstand am Beginn einer Epoche der rasanten technischen Entwicklung, die auch und gerade vor dem Automobil nicht halt machte. Zwar wird 1927 nochmals ein neuer Rundenrekord mit 145 km/h gefahren, aber die Unebenheiten und auch die geringe Länge der Bahn ließen größere Geschwindigkeiten nicht mehr zu. Nur zehn Jahre nach ihrer Fertigstellung war die Opel-Bahn den Geschwindigkeiten der stärksten und schnellsten Rennwagen nicht mehr gewachsen.

In den späten 30er Jahren diente die Bahn ab und an noch einigen Werksfahrern als Teststrecke für Sonderentwicklungen.

Eine gänzlich sachfremde Nutzung sollte die Bahn während des Zweiten Weltkrieges erfahren, als die Wehrmacht im südöstlichen Bereich des Areals eine Scheinwerferstellung zur Fliegerabwehr installierte. Nach Kriegsende nutzte man die Bahn noch einmal gemäß ihrer ursprünglichen Bestimmung: Bis 1948 wurden rund eineinhalbtausend Fahrzeuge der Besatzungsmacht von Opels Army-Repair-Shop instandgesetzt und auf der damals schon recht angeschlagenen alten Rennbahn „Probe gefahren“. Mit Ablauf des Pachtvertrages im Jahre 1949 endete definitiv eine glanzvolle Ära und der Kurs geriet endgültig in Vergessenheit. So ist denn eine der bedeutendsten Rennanlagen unseres Landes aus dem kollektiven Gedächtnis verschwunden.

5. Heutiger Bestand der Anlage

Im Zuge des Ausbaus des Bundes- und Landstraßennetzes wurde der Bereich der Start- und Zielgeraden in den 70-er Jahren auf einer Länge von ca. 380 m zwischen der Nord- und der Südkurve abgebrochen. Seit diesem Abriss präsentiert sich das Bauwerk als gigantischer Torso, dessen Gesamtdimension sich im gegenwärtigen Zustand allerdings nur noch erahnen lässt. Auf Luftbildern sind die ca. 1,2 km der Bahn, die noch erhalten sind, gut erkennbar, siehe Bild 7. Allerdings wurden an vielen Stellen Pflanzlöcher in den Beton gebrochen, in denen mittlerweile Bäume wachsen, auch in den größeren Fugen haben sich Gehölze entwickelt.

Die Opel-Rennbahn ist seit 1987 in der Arbeitsliste der Kulturdenkmäler der Stadt Rüsselsheim als technisches Kulturdenkmal gemäß § 2 DSchG und somit nach den Bestimmungen des Denkmalschutzgesetzes gegen Veränderungen geschützt. Sie ist Bestandteil der „Route der Industriekultur“ und Besucher haben die Möglichkeit von einer Aussichtsplattform einen ca. 30 m langer Streckenabschnitt freigelegten Teil der Steilkurve zu besichtigen (49°58'03''N / 8°24'57''O). Bildtafeln im Bereich der Aussichtsplattform geben Informationen über die erste deutsche Autorennstrecke, siehe Bild 7 und Bild 8.



Bild 7: Opel-Bahn 2013 Luftbild



Bild 8: Opel-Bahn 2013, Aussichtsplattform

Untersuchungen 2013

Im Sommer 2013 wurden durch die Chemisch Technisches Laboratorium Heinrich Hart GmbH Untersuchungen an der Fahrbahn im Bereich von freigelegten Fahrbahnplatten der nördlichen Steilkurve durchgeführt.

Die Untersuchungen umfassten:

- zerstörungsfreie Untersuchungen mittels Ultraschall, Radar- und elektromagnetischen Verfahren
- Betonkernproben
- Rammsondierungen

Die Untersuchungen erbrachten folgende Ergebnisse:

Die Steilkurven gründen im natürlichen Gelände auf schwach sandigem bis sandigem Lößlehm. Auf diese Lößlehm wurde die Dämme der Steilkurven zunächst mit schwach schluffigen bis schluffigen, schwach kiesigen Sanden aufgebaut, siehe Bild 9.

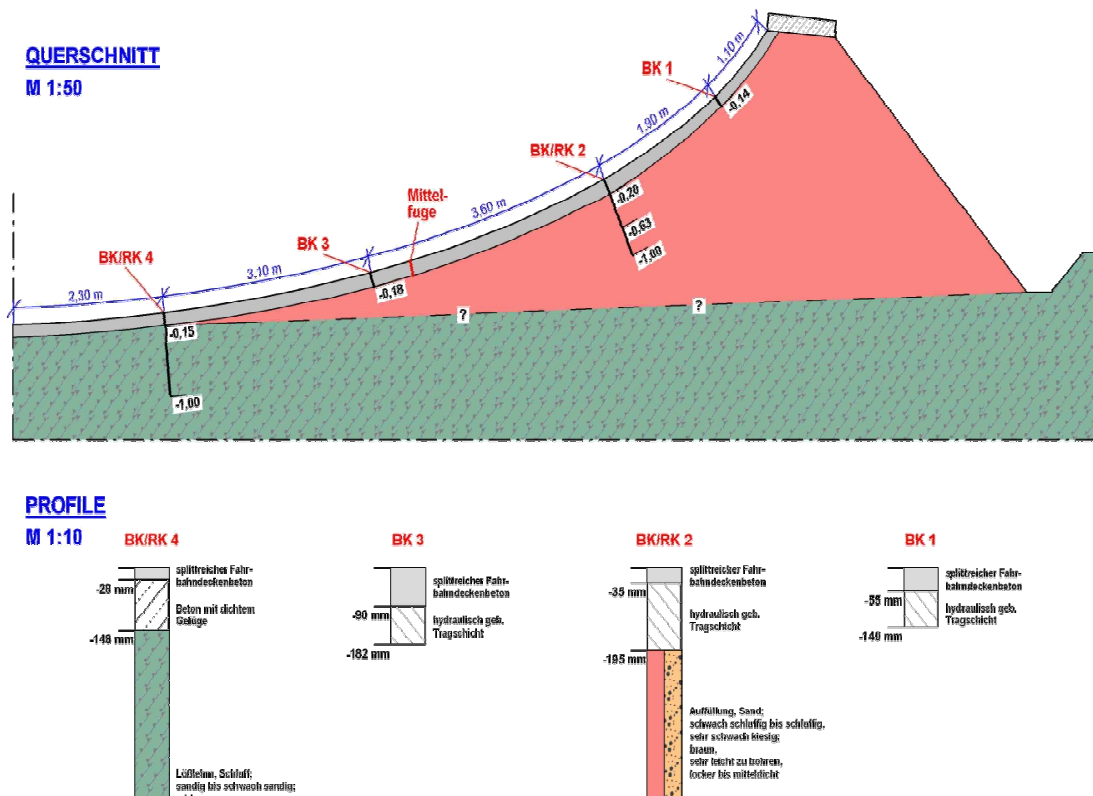


Bild 9: Opel-Bahn Querschnitt und Lage der Bohrkern

Da es sich um feinkörniges Material handelt ist davon auszugehen das das Steilkurvenquerprofil mit Hilfe von Lehren unterschiedlicher Radien in horizontaler Arbeitsrichtung vorprofiliert wurde. Offensichtlich wurden die einzelnen Fahrbahnplatten nicht miteinander verdübelt. Mit Hilfe von Georadarmessungen war in den beiden untersuchten Fahrbahnplatten kein Stahl nachzuweisen.

In den vier entnommenen Bohrkernen besteht der unbewehrte Betonoberbau aus einem 3 cm bis 9 cm dicken Splittbeton (im Mittel: 5 cm) und einer 8,5 cm bis 16 cm (im Mittel 11,5 cm) dicken hydraulisch gebundenen Kiestragschicht. Große Poren und Lunker in der Splittbetondeckschicht weisen darauf hin, dass man in dieser Pionierzeit des Betondeckenbaus der Verdichtung keine ausreichende Aufmerksamkeit widmete, bzw. die notwendigen Verdichtungsgeräte noch nicht vorhanden waren, siehe Bild 10.

Die Druckfestigkeit des Splittbetons variiert in den drei untersuchten Proben zwischen 24 MPa und 38,5 MPa um den Mittelwert von 32,5 MPa (MPa = N/mm²). Diese Druckfestigkeiten entsprechen nach aktuellen Vorschriften ca.

einem Beton mit der Druckfestigkeit nach Eurocode2, bzw. alter DIN 1045 von C25/30 (B25) und C35/45 (B45) und einem Mittelwert C30/37 (B35).

Aus einer chemischen Zementanalyse wird auf ein Mischungsverhältnis Zement: Gesteinskörnung von 1 : 2 geschlossen. Die hydraulisch gebundene Tragschicht weist eine geringe mittlere Druckfestigkeit von 6 MPa auf. Das Mischungsverhältnis Zement / Gesteinskörnung wird aus der Analyse mit 1 : 6,5 abgeschätzt.



Bild 10: Opel-Bahn Bohrkerne

Im Bereich in dem die Untersuchungen an der Fahrbahn vorgenommen wurden, waren alle Betonplatten durch orthogonale Risse in Teilplatten zerlegt. Grund dafür ist wohl hauptsächlich die zu geringe Dicke des Betons. Nach heutigen Erkenntnissen und Vorschriften für den Bau von Betonstraßen ist die Dicke der Betonplatten unterdimensioniert. Legt man diese aktuellen Bemessungskriterien zugrunde, hätte der Beton der Fahrbahndecke bei der Plattengröße von bis zu 6 m x 6 m mindestens ca. 24 cm ($d_{\text{Soll}} \sim L/25$) dick sein müssen; bei den Bohrkerne wurden aber nur Dicken von 2,8 cm bis 9 cm festgestellt. Die Risse, die zu der Zerstörung der Fahrbahn geführt haben, dürften auf die Druck- und Zugspannungen, speziell aufgrund von Temperaturänderungen,

zurückzuführen sein. Zudem sind die einzelnen Platten nicht verdübelt oder verankert, woraus erhebliche Plattenversätze resultieren.

Diese Bauweise gleicht aber sehr dem Bau von Zementmakadamstraßen, die ab ca. 1905 in vielen deutschen Städten gebaut wurden. Diese Straßen erhielten Querfugen in 6 bis 10 m Abstand, die als Preßfugen ausgeführt waren. Die Dicke betrug im Mittel 20 cm. Der 15 cm dicke Unterbeton wurde im Mischungsverhältnis 1 : 7 bis 1 : 10 mit Kies oder Steinschlag als Zuschlagsstoff, der 5 cm dicke Oberbeton im Mischungsverhältnis 1 : 3 bis 1 : 3 ½ mit Basalt oder Diabas als Zuschlagsstoff hergestellt. Der Oberbeton wurde erst zwei oder drei Tage nach dem Einbau des Unterbetons aufgebracht. (Gerhard Streit, Handbuch des Beton-Straßenbaues)

Hinweise auf die Baudurchführung können nicht mehr gefunden werden. Man kann aber davon ausgehen, dass jede Querfuge die Lage einer Profillehre markiert und die einzelnen Betonplatten über diese Lehre profiliert wurden. So konnte in Querrichtung die parabolische Form hergestellt werden, in Längs- oder auch Fahrtrichtung war die Oberfläche der einzelnen Platte nicht gekrümmt.

Durch diese Bauweise ergab sich in Längs-/Fahrtrichtung allerdings ein Polygon und keine harmonische Kurve, was natürlich die Fahrbahnebenheit und damit auch den Fahrkomfort und damit letztlich die Sicherheit bei hohen Geschwindigkeiten negativ beeinflusste. Diese Tatsache, verbunden mit den auftretenden Rissen und zusätzlichen Unebenheiten durch den Versatz einzelner Platten haben maßgeblich zur frühen Aufgabe der Strecke beigetragen.

7. Zusammenfassung

Der Bau dieser Strecke stellt eine Pioniertat in der Geburtszeit des Fahrbahnbetondeckenbaus dar. Weder hinsichtlich des Streckenentwurfes, der Konstruktion von Steilkurven, der Bemessung der Fahrbahn noch der Ausführung konnte auf Erfahrungen in Deutschland zurückgegriffen werden.

Die Planung und der Bau der AVUS in Berlin, auch in Betonbauweise, erfolgte zwar schon einige Jahre früher, aber hier handelte es sich um eine ebene, nicht stark überhöhte Fahrbahn. Die berühmte Steilkurve der AVUS wurde erst 1937 gebaut. Und auch hier kann man folgende Bemerkungen zum Bau lesen:

„ Bereits beim Eröffnungsrennen zeigten sich auf mangelnde Erfahrung im Fahrbahnaufbau zurückzuführende Defizite der Strecke. Im Jahr 1926 fand mit dem ersten „Großen Preis von Deutschland“ wieder ein großes Autorennen statt, bei dem infolge widriger Witterungsbedingungen und des schlechten Streckenzustands vier Todesopfer zu beklagen waren. Neben mangelnder Griffigkeit des Belags hatte die Strecke durch den traditionellen Fahrbahnaufbau bei mangelnder Verdichtung des Untergrunds Bodenwellen mit bis zu zehn Zentimeter Höhe. In den folgenden Jahren wurde die AVUS nun auch Versuchsstrecke für Straßenbau, auf der viele Elemente des heutigen Straßenbaus erstmals getestet wurden.“ (Wikipedia, AVUS-Geschichte)

Zu der Zeit, in der die Planung für diese Rennbahn erfolgte, war der moderne Straßenbau in der Anfangsphase. Die Asphalt- und Betonstraßen waren im Vergleich zum gesamten Straßennetz die Ausnahme. Die Hauptaufgabe des Straßenbaus Anfang des 20-ten Jahrhunderts war die Reduzierung der Stauentwicklung da die Automobile ja viel größere Geschwindigkeiten im Vergleich mit Pferdefuhrwerken erreichten.

Die Trassierung eines solchen Kurses mit den Übergangsbögen in einer Zeit, als die Klothoide als Trassierungselement noch unbekannt war, sie wurde erst

in den 50 Jahren in Tafelwerken veröffentlicht, kann man nur als Meisterwerk bezeichnen.

Auch der Zusammenhang zwischen Plattenlänge, Plattendicke, Biegezug- und Wölbspannungen, speziell auch der Einfluß der Temperatur bei stark geneigten/überhöhten Fahrbahnen war aufgrund fehlender Untersuchungen unbekannt. Die betontechnologischen Zusammenhänge wurden erst in den 70-er Jahren des 20-ten Jahrhunderts erforscht und in die technischen Vorschriften aufgenommen.

Letztlich finden wir im jetzigen Wald von Rüsselsheim ein Denkmal für den Erfindungsreichtum von Straßenbauingenieuren und -meistern, die gezwungen waren, neue Wege bei der Planung und dem Bau eines einmaligen Bauwerkes zu gehen und deren Mut nicht nur maßgebend zur Entwicklung innovativer, äußerst leistungsfähiger Fahrzeuge sondern auch dem Bau eines leistungsfähigen Straßenverkehrsnetzes beigetragen hat.

Literaturnachweise

FAUST 1998	Gerhard Faust: Entwurf und Bau von stark überhöhten Fahrbahnen, Dissertation TU Darmstadt 1998
LENNARTZ 1993	M. Lennartz/M. Huthmacher: Das vergessene Motodrom in Rüsselsheim aus „Sport in der Region“ 1993, Seite 60-67
PATURI 1988	Felix R. Paturi: Chronik der Technik, Chronik Verlag 1988, Seite 388-417
SCHNEIDER 1987	Jürgen Schneider: 125 Jahre Opel, Autos und Technik, 1987, Seite 71-94
STREIT 1964	G. Streit: Handbuch des Betonstraßenbaus, Beton für Verkehrsflächen aller Art, Bauverlag GmbH Wiesbaden, 1964, Seite 9/10
WIKIPEDIA	AVUS-Geschichte

Autoren:

Dr. Gerhard Faust:	vormals Adam Opel AG webmaster@gfaust.de
Dr. Rainer Hart:	Hart Consult International GmbH hart@ConsultantHart.com
Dipl.-Ing. Sascha Münz	Chemisch Technisches Laboratorium Heinrich Hart GmbH muenz@labor-hart.de