

Spitzenrechner für Spitzenleistungen

Die Geschichte des Einsatzes von Hochleistungsrechnern in der Crashsimulation bei Porsche

Von Wolfgang Brand

Porsche zu fahren war schon immer etwas Besonderes. Wie kaum ein anderer Automobilhersteller steht die Traditionsschmiede mit ihren Sportwagen für Geschwindigkeit, Dynamik und Fahrspaß. Um jedoch einen Boliden aus Stuttgart-Zuffenhausen rasant und sicher über die Straßen und Rennpisten dieser Welt pilotieren zu können, müssen die Porsche-Konstrukteure zuvor zwei völlig verschiedene Entwurfsziele miteinander vereinen: Sicherheit und Geschwindigkeit.

Auch wenn der typische Porschefahrer - und natürlich auch die -fahrerin - sicherlich über ein etwas weniger ausgeprägtes Verlangen nach subjektiver Sicherheit verfügen dürfte, war es schon immer ein wichtiges Entwurfskriterium in Porschefahrzeugen zeitnah aktuelle Entwicklungen der Sicherheitsforschung umzusetzen, ja die Unfallforschung aktiv mitzugestalten.

Crashtests für Anfänger

Um auf den Rennstrecken aller Herren Länder bestehen zu können und das Verlangen der Kunden nach einem sportlichen und zugleich sicheren Fahrzeug zu stillen, begann Porsche bereits in den „Swinging Sixties“ mit den ersten Crashtests. Im



Der erste Crashtest im März 1966 mit einem 904

(Porsche Werksphoto)

März 1966 wurde auf dem Werksgelände in Zuffenhausen der erste Aufprallversuch mit einem Porsche 904 durchgeführt.

Da keinerlei Infrastruktur für solche Versuche vorhanden war, behalf man sich mit einem Kran, von dem der 530 kg schwere Rennwagen, in etwa 10 Metern Höhe hängend, in freiem Fall zu Boden stürzte. Die entsprach einem Frontalaufprall mit etwa 50 km/h. Zwischen 1966 und 1971 wurden insgesamt 72 dieser Fallversuche mit Aufprallgeschwindigkeiten von bis zu 80 km/h durchgeführt. Es hatte also nicht allzu lange gedauert, bis solche Versuche

Für schnelle Leser

Porsche begann bereits Mitte der 1960iger Jahre mit realen Crashtests. Da erhöhte Sicherheitsanforderungen die Zahl der Versuche deutlich erhöhte, entschloss man sich ab 1980 die Abläufe bei Unfällen auch numerisch zu berechnen. Der Einsatz von Hochleistungsrechnern ermöglichte im Laufe der Zeit immer detailreichere Simulationen. Diese Entwicklung lässt sich in drei Phasen einteilen: Ab 1980 wurden reale Crashes „nachgerechnet“, in den 1990iger Jahren konnte man „mitrechnen“ und die Konstruktionsprozesse bereits direkt beeinflussen und ab dem neuen Jahrtausend verdrängt die numerische Crashsimulation zunehmend reale Versuche.

integraler Bestandteil des Konstruktionsprozesses geworden waren.

Die wachsende Zahl von PKWs im Westdeutschland der 1960iger Jahre und die deutlich gestiegenen Fahrleistungen führten in dieser Zeit zu einem rasanten Anstieg der Unfallzahlen. 21.332 Verkehrstote alleine im Jahre 1970 markierten einen traurigen Höhepunkt und schockierten Automobilisten und Politik gleichermaßen. Als Folge dieser Entwicklung wurden die Sicherheitsanforderungen an die Konstruktion von Autos erheblich verschärft. Ab 1974 durfte kein Neuwagen mehr ohne Sicherheitsgurte zugelassen werden und die bereits vorhandenen Programme zur Unfallforschung wurden weiter intensiviert.

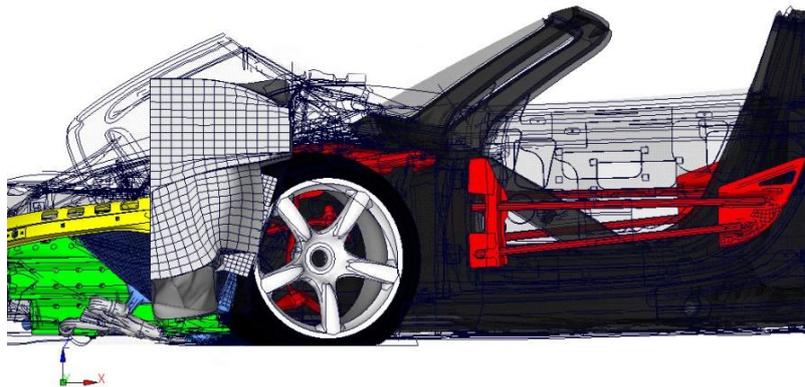
Bereits ein Jahr zuvor, im Jahr 1973, konnte Porsche seine erste Craschanlage im Versuchszentrum in Weissach in Betrieb nehmen. Die Fahrzeuge rollten nun, in einer Schiene geführt, von einem Hang ab. Mobile Barrieren und Crashtestdummies ermöglichten es, eine Vielzahl von unterschiedlichen Aufprallszenarien zu studieren und die dazugehörigen Daten aufzuzeichnen. Insgesamt wurden auf diesem Außen Gelände über die Jahre hinweg mehr als 300 Versuche durchgeführt.

Dieser enorm gestiegene Aufwand stellte die gesamte Automobilbranche vor große

Herausforderungen und bewegte nicht nur Porsche dazu, am Ende der 1970iger Jahre über neue Ansätze in der Fahrzeugentwicklung nachzudenken.

1980: Die Anfänge der numerischen Crashtests bei Porsche

Versuche ausschließlich mit Fahrzeugen waren inzwischen zu aufwendig und zu teuer geworden. Man begann sich bei Porsche nach neuen Möglichkeiten umzusehen, an die begehrten Daten über das Fahrzeugverhalten beim Aufprall zu kommen.



Visualisierung der numerischen Simulationsergebnisse eines Frontalaufpralls eines Carrera GT, Modelljahr 2003. Im Frontbereich ist die Zerlegung der Bauteile in gleichförmige Grundelemente ganz deutlich zu sehen.

(Porsche Werkszeichnung)

Numerische Simulationen des Crashverhaltens schienen einen Ausweg aus diesem Dilemma bieten zu können. Während der 1970iger Jahre war die Leistungsfähigkeit der verfügbaren Computer bereits deutlich angestiegen und für die ersten wagemutigen Ingenieure erschien es nun im Bereich des Möglichen zu liegen, zumindest die Verformung einzelner Fahrzeugkomponenten bei einem

Zusammenstoß im Computer zu simulieren. Die Zeit von einfachen Kränen auf Hinterhöfen war endgültig zu Ende.

Allerdings erforderten die anstehenden Aufgaben auch besondere Kenntnisse auf dem Gebiet der Numerik und der Modellierung komplexer Leichtbauteile. Das hierfür benötigte Know-how war an der Universität Stuttgart im Bereich Luft- und Raumfahrttechnik vorhanden und so kamen viele der Mitarbeiter dieser neuen, kleinen Abteilung für numerische Crashbe-

rechnungen von dort. Sie übertrugen die ihnen bekannte Berechnungsmethode der Finiten Elemente (FEM), bei der ein komplexes Bauteil in viele kleine, gleichförmige Elemente zerlegt wird, auf die Berechnung von Fahrzeugteilen, insbesondere Längsträger. Die Verformung dieser Elemente und deren Wechselwirkung mit ihren Nachbarelementen kann durch einen leistungsfähigen

Computer relativ einfach berechnet werden.

Da Porsche zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht über sehr leistungsstarke Rechner verfügte, war die Detailtiefe dieser Berechnungen noch nicht sehr groß. Berechnungen wurden nur im Nachgang zu tatsächlich durchgeführten Crashtests durchgeführt und dienten am Anfang zur Validierung der eingesetzten Berechnungsverfahren. Die zu diesem Zeitpunkt mit der Auslegung von Komponenten beschäftigten Mitarbeiter „belächelten“ dieses „Nachrechnen“ der Crashergebnisse und konnten sich zur da-

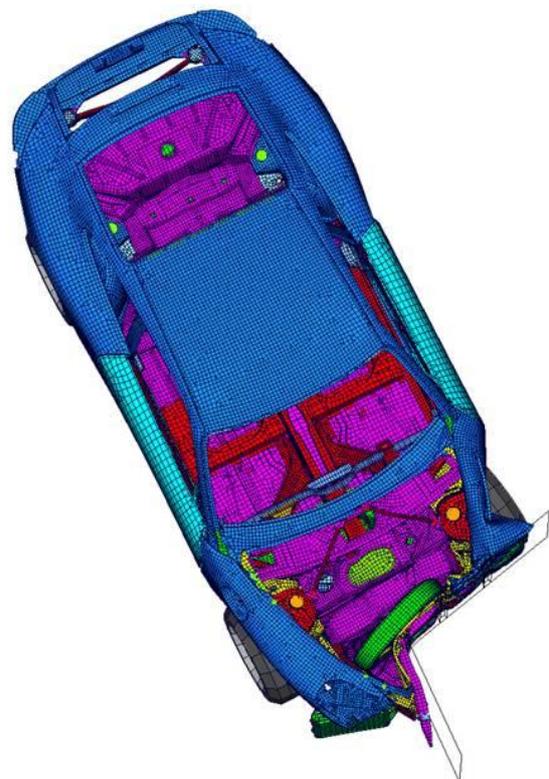
maligen Zeit noch nicht vorstellen, dass numerische Berechnungen für die Formfindung von Fahrzeugkomponenten einmal eine entscheidende Rolle spielen würden.

1986 war die Crashanlage in Weissach erweitert worden und es zeigte sich sehr schnell, dass mit diesen neuen Berechnungsverfahren valide Ergebnisse erzielt werden konnten. Allerdings war nicht zu übersehen, dass für eine noch aussagefähigere Modellierung der Karosserien eine deutlich genauere Abbildung der zu berechnenden Elemente im Computer notwendig war.

Zwischen 1982 und 1985 ermöglichte die steigende Rechnerleistung den Übergang von einem 1/4-Modell eines Längsträgers mit 96 Elementen zum Halbmodell eines ganzen Fahrzeugs mit 2300 Elementen. Während bei den frühen Berechnungen nur die ersten 0,5ms des Verformungsprozesses abgebildet werden konnten, stieg die zeitlichen Auflösung in der Mitte der 1980iger Jahre auf immerhin 26ms.

1990: Nicht mehr Nachrechnen, sondern Mitrechnen

Die Universität Stuttgart verfügte bereits seit 1983 über einen Hochleistungs-



Links ein Porsche 911 Carrera 3,4 Coupé nach dem seitlich versetzten Aufprall bei einem Crashtest in den späten 1990iger Jahren. Rechts die dazugehörige Simulation. Deutlich sind die einzelnen Komponenten und ihr Verformungsverhalten sowohl im realen Versuch, als auch in der Berechnung zu erkennen. Die Auflösung in der Simulation hat sich bereits deutlich erhöht und auch Kleinstrukturen, wie die Stoßdämpferaufhängung sind klar zu erkennen. (Porsche Werksphoto und -zeichnung)

rechner vom Typ Cray-1, der 1986 durch das Nachfolgemodell Cray-2 ersetzt wurde. Da die damalige Landesregierung unter Lothar Späth die intensive Zusammenarbeit und den Technologietransfer zwischen Hochschule und Wirtschaft auf ihre Fahnen geschrieben hatte, bestand für Porsche die Möglichkeit Rechenzeit auf einer sehr leistungsstarken Maschine zu erwerben, ohne gleich selbst umfangreiche Investitionen in Hochleistungsrechner tätigen zu müssen.

Die 1990iger Jahre brachten nicht nur eine kontinuierliche Steigerung der Rechenleistung der bewährten Hochleistungsvektorrechner, sondern es erfolgten, ab der Mitte der 1990iger Jahre, der Übergang zu den Parallel-

rechnern. Nicht mehr einige wenige Prozessoren übernahmen jetzt die Berechnung, sondern ganze Prozessorverbände arbeiteten gleichzeitig und koordiniert an einer Problemstellung. Dies erlaubte es, Karosserien in immer feinerer Auflösung zu berechnen. Während 1991 das Vollmodell eines Fahrzeugs mit 25.000 Elementen beschrieben werden konnte und sich das Crashverhalten in den ersten 80ms nach dem Aufprall simulieren ließ, konnten 1997 alle relevanten Crasharten mit 120ms Zeitdauer und in einer Auflösung von 310.000 Elementen untersucht werden.

In diesem Jahrzehnt hatte die numerische Crashsimulation für Porsche bereits eine solche Bedeutung erlangt, dass

das Unternehmen eine eigene Cray T90 erwarb und im Rechenzentrum der Universität Stuttgart betreiben ließ.

Zu dieser Zeit machte jedoch auch die Software gewaltige Fortschritte. Schon in den 1980iger Jahren waren die ersten großen Softwarepakete entstanden, mit denen umfangreiche Berechnungen, wie sie im Automobilbau vorkamen, durchgeführt werden konnten. Man war bei Porsche also nicht mehr auf das Schreiben eigener Simulationsprogramme angewiesen, sondern konnte zunehmend auf Standardsoftware zurückgreifen.

Die ursprünglich recht kleine Abteilung für numerische Simulation war in der Zwischenzeit beachtlich gewachsen und es ergab sich die Notwendigkeit, dieser Entwicklung in Form neuer Organisationsstrukturen innerhalb des Unternehmens Rechnung zu tragen.

Neben linearen Berechnungen spielten zunehmend auch nichtlineare Kalkulationen und die Simulation des Schwingungsverhaltens der Baugruppen in den Fahrzeugen eine Rolle. Es gab nun für jeden einzelnen Ansatz eine Unterabteilung oder Arbeitsgruppe, die sich mit den entsprechenden Methoden und deren optimaler Anwendung befusste. Für jedes der vier großen Simulationssoftwarepakete, die den Markt dominierten, waren Konstruk-

Der Vater des Supercomputers

Seymour Roger Cray und seine Hochleistungsrechner

Supercomputer haben schon immer die Menschen fasziniert. Nachdem in Deutschland - durch Konrad Zuse -, England und den USA in den 1930iger und 40iger Jahren die ersten digitalen Rechner gebaut wurden, war der Computer schnell zum unverzichtbaren Werkzeug des Ingenieurs geworden.

Dem Amerikaner Seymour Roger Cray (1925-1996) gelang in den 1960iger Jahren durch innovative Konstruktionen eine deutliche Steigerung der Rechengeschwindigkeit. Dies ermöglichte die Bearbeitung immer komplexerer Aufgabenstellungen in Wissenschaft und Technik. Sein Streben nach immer schnelleren Computern trug ihm daher schnell den Titel eines „Vaters der Supercomputer“ ein. Cray entwickelte eine neue Art von Computer, den Vektorrechner, bei dem die Daten nicht mehr einzeln nacheinander verarbeitet wurden, sondern auf eine Gruppe von Zahlen ein und derselbe Befehl angewandt wurde. Dies ermöglichte eine drastische Leistungssteigerung, setzte jedoch auch neue Fertigkeiten bei den Programmierern voraus. Cray schuf damit die Voraussetzungen für die Entwicklung der nachfolgenden Rechnergenerationen, die mit einer großen Anzahl parallel und unabhängig voneinander arbeitender Prozessoren bestückt sind.

Am 22. September 1996 wurde Cray in einen schweren Autounfall verwickelt, dessen Folgen er am 5. Oktober 1996 erlag. Ironischer Weise war die Karosserie seines Jeep Cherokee auf einem Cray Supercomputer berechnet worden.



Der Einfluss der Hochleistungsrechner auf die Konstruktion: Die beiden oberen Bilder zeigen Porscheingenieure bei der Entwurfsarbeit. 1976 arbeiten die Konstrukteure jeder für sich alleine am Zeichenbrett (links), 2003 ermöglicht eine 3D-Visualisierung die Arbeit im Team. 1976 bestanden die inneren Strukturen eines Fahrzeugs aus geraden Blechteilen (unten links), 2001 ist die innere Struktur deutlich komplexer geworden (unten rechts). Hochleistungsrechner ermöglichen mehr Sicherheit bei weniger Materialeinsatz durch verbessertes Design. (Porsche Werksphotos)

teure vorhanden, die versuchten, im Zusammenspiel mit den eingesetzten Hochleistungsrechnern, möglichst aussagekräftige Fahrzeugmodelle zu entwickeln.

Die Kritiker der numerischen Crashesimulation waren inzwischen längst verstummt und der Einsatz umfangreicher Berechnungsmodelle in der Fahrzeugkonstruktion war selbstverständlich geworden. Diese Epoche ist durch den Übergang vom „Nachrechnen“ der Crashergebnisse zum „Mitrechnen“ geprägt. Simulationsberechnungen flossen direkt und zeitnah in den Konstruktionsprozess mit ein und leisteten somit einen wichtigen Beitrag die Sportwagen von

Porsche noch sicherer zu machen.

Aus dem Hochleistungsrechner, der eingesetzten Modellierungssoftware und seinen Nutzern war längst ein komplexes Netzwerk geworden. Der Supercomputer war kein einfaches Rechenwerkzeug mehr, sondern er begann eine eigenständige Rolle in diesem Geflecht zu spielen. Er war es gewesen, der durch seine riesige Rechenleistung überhaupt erst diese Berechnungen möglich gemacht hatte.

2000: Modellieren und Vorhersagen

Ab dem Jahrtausendwechsel hatten sich die Parallelrechner endgültig durchgesetzt

und es begannen sich sehr schnell auch massiv-parallele Systeme zu etablieren. Nunmehr konnten die Konstrukteure auf Cluster mit mehreren tausend Prozessoren zurückgreifen und es gab für die bisher üblichen Berechnungen praktisch keine Beschränkungen mehr. Die Zahl der Freiheitsgrade in den Modellen lag um 2004 bereits bei etwa 3 Millionen und die Taktfrequenz, mit der die Prozessoren arbeiteten, hatte sich seit 1990 um zwei Zehnerpotenzen erhöht.

Dies erschloss eine qualitativ neue Dimension der Numerischen Simulation. Aus einem „Nach- oder Mitrechnen“ war inzwischen ein „Vorrechnen“ und Vorhersagen geworden.

Die Berechnungen beeinflussten nicht nur die Konstruktion, sondern waren inzwischen so detailreich, dass sie ganze Testreihen ersetzen konnten.

Immer mehr Teilmodelle wurden in ein Gesamtmodell des Fahrzeugs integriert und das angestrebte Ziel wurde die vollständige Substitution von realen Crashversuchen. Diesem Ziel stehen im Moment bei Großserien noch die gesetzlichen Vorgaben entgegen. Bei Sondermodellen mit wenigen hundert Fahrzeugen wird bereits heute fast gänzlich auf reale Crashtests verzichtet.

Auswirkungen der Hochleistungsrechner

Der Einsatz von Hochleistungsrechnern hatte jedoch nicht nur Auswirkungen auf das enge Feld der Crashtest, sondern betraf die ganze Arbeitsweise in Konstruktion und Versuch. Während bis in die 1980iger Jahre hinein die Ingenieure an ihren Zeichenbrettern standen und jeder für sich alleine mit seiner Konstruktion kämpfte, ermöglichten zwei Dekaden später moderne Supercomputer das Studium von Designvarianten mittels interaktiver 3D-Graphiken. Ganze Teams konnten nun an einer Konstruktionszeichnung arbeiten und verschiedene Designvarianten in Echtzeit durchspielen.

Doch nicht nur die Arbeitswelt der Mitarbeiter wurde

von den Hochleistungsrechnern neu gestaltet. Der frühzeitige Einstieg von Porsche in diese Technologie trug auch dazu bei, dass die wirtschaftlichen Turbulenzen in die das Unternehmen in den frühen 1990iger Jahren geriet überwunden werden konnten. Nicht umsonst investierte Porsche in dieser Zeit in eine eigene Cray, die wesentlich dazu beitrug, die Tür zur Produktion größerer Stückzahlen aufzustoßen und die Porsche zu einem der profitabelsten Automobilhersteller überhaupt machten. Ohne die entsprechende Rechenleistung wäre die Neuentwicklung der 1990iger Jahre, der Porsche Boxster, wohl nicht möglich gewesen.

Zusammenfassung

Der Einsatz von Hochleistungsrechnern bei Porsche lässt sich in drei Phasen einteilen, die in etwa mit den 1980iger und den 1990iger Jahren, sowie dem neuen Millennium zusammenfallen. Stetig steigende Rechenleistungen ermöglichten es immer bessere Simulationsmodelle zu entwickeln, die das reale Crashverhalten eines Fahrzeugs immer detaillierter beschrieben. Die Bemühungen der Ingenieure und Wissenschaftler waren in den 1980iger Jahren darauf ausgerichtet die numerische Crashsimulation als neues Verfahren zu etablieren und die Machbarkeit dieses Ansatzes zu belegen. Dieses neue Element des Konstruk-

tionsprozesses wurde innerhalb des Unternehmens von Einigen durchaus skeptisch betrachtet. Die ersten Erfolge in der numerischen Berechnung von Aufprallszenarien, die sich dank des Einsatzes moderner Hochleistungsrechner mit Vektorarchitektur einstellten, führten zu einem schnellen Ausbau der beteiligten Abteilungen. Als Porsche zu Beginn der 1990iger Jahre in wirtschaftliche Turbulenzen geriet, konnten numerische Simulationen dazu beitragen, sowohl die Konstruktions-, als auch die Fertigungskosten zu reduzieren. Ebenso konnte die benötigte Zeitspanne für Neukonstruktionen verkürzt werden, was eine flexiblere Modellpolitik und eine Verbreiterung der Modellpalette ermöglichte.

Diese Entwicklung wird sich sicherlich in den nächsten Jahren weiter fortsetzen und dazu führen, dass nicht mehr nur einzelne konstruktive Aspekte modelliert werden, sondern dass diese Teilmodelle in einem virtuellen Gesamtmodell der neuen Fahrzeuge zusammengeführt werden. Hochleistungsrechner werden auch in den kommenden Jahren ihren Beitrag dazu leisten, dass, in nicht allzu ferner Zukunft, ein neuer Porsche, bevor der erste Prototyp das Licht der Welt erblickt, bereits tausende von Kilometern auf virtuellen Straßen unterwegs gewesen sein wird.