

Dauerbrenner: die Antriebstechnologie des Porsche 911

11/07/2024 Die Geschichte der Antriebstechnologie des Porsche 911 erzählt von ständiger Innovation und einzigartiger Tradition. Ihr vorläufiger Höhepunkt: die hochperformante Hybridisierung für die Generation 992.

Die Zwischenbilanz nach sechs Jahrzehnten 911-Antriebsentwicklung: doppelter Hubraum, vierfache Leistung, unverändertes Grundkonzept. „Wir sind immer wieder überrascht, wie ausbau- und wandlungsfähig der Sechszylinder-Boxermotor ist“, sagt Thomas Krickelberg, Leiter Operating Excellence in der Baureihe 911/718. Künftig also mit elektrischem Abgasturbolader für noch mehr Leistung und Schub bei geringeren Emissionen. Was ist das für eine grandiose Basis, die sich auch auf dem Weg in ihr siebtes Jahrzehnt noch immer wieder neu erfinden lässt?

Der Mezger-Motor

Als Porsche 1963 den künftigen 911 noch unter dem Namen 901 vorstellt, leistet dessen Sechszylinder-Boxer 96 kW (130 PS) aus zwei Litern Hubraum. „Kompakte Bauweise, wenig Gewicht, maximale Leistungsfähigkeit", bringt Albrecht Reustle, Fachreferent Konstruktion Boxermotor bei Porsche, die bis heute gültigen Qualitäten auf den Punkt. Er arbeitete bis 1993 im Team von Hans Mezger – jenem Konstrukteur, unter dessen Name der Motor berühmt wurde.

911 mit Turbolader

Jede Generation des 911 setzt Meilensteine in der Antriebstechnik. Die im Rennsport erprobte Turbotechnologie ist 1974 für den 911 serienreif. Durch die Kombination von Abgasturboaufladung und Benzineinspritzung ist der Typ 930 mit einer Leistung von 191 kW (260 PS) dem Wettbewerb in Performance und Effizienz weit voraus.

Von Anfang an erfüllt er strenge Abgasvorschriften. „Im Rückblick kann man feststellen", sagt Krickelberg, „dass die Turboaufladung die gesamte Welt der Verbrennungsmotoren revolutioniert hat." Turbomotoren sind der Traum eines jeden Ingenieurs, da sie Energie aus heißen Abgasen nutzen, die sonst verschwendet würde. Ihr Herzstück ist der Turbolader, bestehend aus einem Turbinen- und einem Verdichterrad, die fest verbunden sind. Die Turbine wird von den Auspuffgasen des Motors angetrieben und erreicht Drehzahlen von fast 200.000/min. Das Verdichterrad dreht sich mit derselben Geschwindigkeit und führt den Zylindern komprimierte Luft zu. Diese zusätzliche Frischluft fördert die Verbrennung, erhöht dadurch die Leistung des Motors. Um die Bauteile des Motors nicht übermäßig zu belasten, muss der durch den Abgasstrom im Turbolader erzeugte Druck begrenzt werden. Durch ein Bypass-Ventil, ein sogenanntes Wastegate, entweichen die Abgase, wenn der Ladedruck eine bestimmte Grenze erreicht.

Leistungsplus durch Ladeluftkühlung

Mit kontinuierlicher Entwicklungsarbeit verfeinern die Porsche-Ingenieure das Turboprinzip. Durch die hohen Temperaturen auf der Turbinenseite und die Verdichtung der Luft heizt sich diese auf. Das wirkt sich negativ auf die Füllung im Zylinder und das Verbrennungsverhalten des eingespritzten Kraftstoffes aus. Ab dem Modelljahr 1978 wird die komprimierte Ladeluft auf dem Weg zum Brennraum gekühlt – wie es sich zuvor im Rennsport bewährt hat. Der Kühler ist unter einem Gitter am mächtigen Heckspoiler montiert. Diese aufwendige Ladeluftkühlung ermöglicht eine Leistungssteigerung auf 221 kW (300 PS) und eine bemerkenswerte Motorelastizität.

Ein weiteres prinzipbedingtes Problem des Turbomotors ist anfangs nur schwer in den Griff zu bekommen: das verzögerte Ansprechen beim Beschleunigen. Im unteren Drehzahlbereich verhält sich der 911 Turbo beim Gasgeben ähnlich wie sein schwächeres Pendant mit Saugmotor. Aber ab etwa

3.500/min setzt dann ein gewaltiger Schub ein. „Dieses sogenannte Turbo-Loch mussten wir für eine verbesserte Fahrbarkeit schließen", erklärt Entwickler Krickelberg.

Biturbo: stürmische Entwicklung

Eine Lösung präsentiert Porsche mit dem 911 Turbo (993) der vierten Generation. Im Frühjahr 1995 wird der mit 300 kW (408 PS) bis dahin stärkste Serien-Porsche vorgestellt. Sein 3,6-Liter-Aggregat beeindruckt mit erstmals zwei Turboladern und zwei Ladeluftkühlern. Zwei kleinere Turbinen kommen beim Beschleunigen schneller auf Touren als eine größere. Vor allem das geringere Trägheitsmoment der kleineren Rotoren wirkt sich positiv aus. „Und um die Leistung sicher auf die Straße zu bringen", ergänzt Krickelberg, „erhielt der 993 Turbo serienmäßig einen weiterentwickelten Allradantrieb." Dank der Fortschritte in Motorsteuerung und Sensorik sowie einer modernen Abgasnachbehandlung gilt der Turbo der letzten luftgekühlten 911-Generation als emissionsärmstes Serienauto seiner Zeit.

Mit Wasserkühlung ins 21. Jahrhundert

Als „Eintrittskarte in die neue Technologie" bezeichnet August Achleitner Ende der 1990er-Jahre die Umstellung von Luft- auf Wasserkühlung beim Sechszylinder-Boxermotor der fünften 911-Generation (996). Achleitner ist damals Leiter der Abteilung Technische Produktplanung und zeichnet von 2001 bis 2018 verantwortlich für die Baureihe 911. Die Wasserkühlung ist Bedingung für weitere Leistungssteigerungen, Verbrauchsreduzierung sowie Erfüllung von Abgas- und Geräuschgesetzen. Die Konstrukteure bei Porsche entwickeln Zylinderköpfe mit vier Ventilen pro Brennraum. „Es gab bei den Rennwagen schon 1970 am Typ 908 Voruntersuchungen mit einem luftgekühlten Vierventiler für den V12-Motor, der später im 917 eingesetzt werden sollte. In den 1980er-Jahren wurde der Gedanke in der 911-Serienentwicklung dann aufgegriffen und an der Generation 964 auf dem Prüfstand erprobt", erinnert sich Albrecht Reustle. „Aber dabei ist der Zylinderkopf regelrecht geschmolzen." Und wieder kommt die Lösung aus dem Rennsport: Der erfolgreiche Langstrecken-Prototyp 962 fährt bereits mit wassergekühlten Zylinderköpfen, ebenso der Supersportwagen 959. Trotz aller damaligen Diskussionen über den Abschied von der Luftkühlung: Die Generation 996 wird ein bahnbrechender Erfolg.

Variable Turbinengeometrie

2006 beeindruckt der 911 Turbo (997) mit einem spürbaren Performancesprung: Leistung und Drehmoment steigen um mehr als zehn Prozent. Vor allem dank einer neuen und weltweit einzigartigen Technologie – der variablen Turbinengeometrie (VTG). Sie ermöglicht die Effizienzoptimierung des Turboladers über ein breiteres Drehzahlband des Motors, indem Winkel und damit Querschnitt der Abgase beim Anströmen der Turbinenblätter angepasst werden. „Die VTG-Entwicklung war wegweisend und ist seit fast 20 Jahren ein Alleinstellungsmerkmal in der Turbotechnologie von Benzinmotoren", erklärt Thomas Krickelberg. „Um den Abgasstrom auf die Turbine variabel auszurichten, müssen sich die kleinen Schaufeln bei Temperaturen von mehr als 1.000 Grad Celsius

gezielt verstellen lassen." Dafür kommen Materialien zum Einsatz, die auch im Spaceshuttle verwendet wurden.

Weniger Hubraum, mehr Leistung und Effizienz

Nach der Einführung von Wasserkühlung und VTG folgt 2015 der nächste Meilenstein: die Turboaufladung bei den Basismodellen Carrera und Carrera S der Generation 991. Krickelberg: „Wir haben den Hubraum verkleinert und konnten zugleich einen beträchtlichen Performancezuwachs erzielen." Durch die neue Motorengeneration mit Biturbolader wurden zunächst 20 PS mehr Leistung realisiert – bei geringerem Verbrauch.

Sportliche Hybridisierung

Mit der Produktaufwertung der aktuellen 911-Generation (992) beschreiten die Konstrukteure im Sommer 2024 wiederum neue Wege bei der Perfektionierung des Sechszylinder-Boxermotors (**911 Carrera GTS (WLTP)*:** Kraftstoffverbrauch kombiniert: 10,6 – 10,1 l/100 km; CO_2-Emissionen kombiniert: 242 – 230 g/km; CO_2-Klasse: G).

Der neue 911 Carrera GTS ist der erste straßenzugelassene Elfer, der mit einem besonders leichten Performance-Hybrid ausgestattet ist. Der neu entwickelte, innovative Antrieb ermöglicht nicht nur eine wiederum deutlich höhere Leistung und verbesserte Beschleunigung – er bereitet das Triebwerk auch auf zukünftige Emissionsstandards vor. „Wir haben unterschiedlichste Ideen und Ansätze entwickelt und getestet, um die Entscheidung für ein Hybridsystem zu treffen, das haargenau zum 911 passt. Herausgekommen ist ein einzigartiger Antrieb, der sich in das Gesamtkonzept des 911 einfügt und seine Performance deutlich steigert", sagt Frank Moser, Leiter Baureihen 911 und 718.

Im Zentrum der Technologie steht der elektrische Abgasturbolader. Zwischen der von den Abgasen angetriebenen Turbine und dem Verdichter sitzt ein integrierter Elektromotor. Seine Funktion: Er kommt beim Beschleunigen blitzschnell auf hohe Drehzahlen und baut damit unmittelbar, ohne Verzögerung, hohen Ladedruck auf. Der Turbolader wird durch den kleinen E-Motor gleichsam beflügelt. „Die Technologie ermöglicht ein Ansprechverhalten ähnlich dem eines Saugmotors", erklärt Matthias Hofstetter, Projektleiter Verbrennungs- und Hybridsystem 911. „Und die Beschleunigungswerte sind mit denen unserer rein elektrischen Sportwagen vergleichbar."

Der Antritt im unteren Drehzahlbereich sei sensationell, bestätigt Thomas Krickelberg: „Mit herkömmlicher Technik hätten wir den angestrebten Performancezuwachs bei gleichzeitiger Einhaltung der künftigen Emissionsgesetze nicht realisieren können." Mehrere Maßnahmen führen zum gewünschten Ergebnis. Der Hubraum wächst wieder von 3,0 auf 3,6 Liter, gleichzeitig benötigt der Verbrennungsmotor dank der E-Unterstützung nicht mehr zwei, sondern nur noch einen Turbolader – bei gleichzeitig verbessertem Ansprechverhalten und gesteigerter Dynamik.

„Das spart Gewicht und hält den Motor kompakt“, erklärt Konstrukteur Reustle. Zudem können durch das Hochvoltsystem die Lichtmaschine und der Klimakompressor elektrisch angetrieben werden, damit entfällt der Riementrieb. Das um 20 Prozent flachere Kurbelgehäuse schafft weiteren Raum für die zusätzlichen Komponenten wie Pulswechselrichter und DC-DC-Wandler. „Wir wollten den 911 nicht länger, breiter oder schwerer auslegen“, sagt Hofstetter, „sondern das vorhandene Package optimal nutzen.“ Das bedeutet Gewichtsmanagement bei einem deutlichen Leistungssprung. Der zunächst in der GTS-Variante angebotene Antrieb mit E-Turbolader leistet 398 kW (541 PS) und 610 Newtonmeter Drehmoment. Zu dem Antriebsstrang gehört auch eine in das neue, verstärkte Achtgang-Doppelkupplungsgetriebe (PDK) integrierte permanenterregte Synchronmaschine. Sie unterstützt den Boxermotor bereits ab Leerlaufdrehzahl mit einem Antriebsmoment von bis zu 150 Newtonmeter und stellt eine Leistung von bis zu 40 kW zur Verfügung. Rein elektrische Fortbewegung wie mit einem Plug-in-Hybrid war beim 911 als T-Hybrid kein Ziel. „Denn auch die Batterie sollte nicht zu groß und zu schwer werden“, erklärt Hofstetter deren Kapazität von 1,9 kWh.

Dafür profitiert sie von einem systembedingten Vorteil des elektrisch unterstützten Laders: Rekuperation durch Abgasenergie-Rückgewinnung. Die E-Maschine im Abgasturbolader arbeitet auch als Generator. Sie erzeugt dabei bis zu 11 kW (15 PS) elektrische Leistung, die sie der Abgasstromenergie entzieht.

Ein ebenso einfaches wie faszinierendes Prinzip. Der E-Motor funktioniert wie ein Drehzahlregler. Sobald der Ladedruck durch überhöhte Drehzahlen zu stark ansteigt, bremst er die Turbine. Dadurch wird Strom erzeugt, der wiederum in die Batterie oder in die E-Maschine eingespeist wird. Dank der effizienten Rekuperation reicht die relativ kleine Batterie für den Alltagsbetrieb völlig aus, zumal die Zellchemie speziell für die T-Hybrid-Erfordernisse ausgelegt ist. „Die Technik erlaubt, dass die Batterie in kurzer Zeit viel Energie abgibt“, erklärt Hofstetter, „und relativ schnell wieder aufgeladen wird.“

Ein weiterer Vorteil des E-Turboladers: Das bekannte Wastegate ist überflüssig. Das macht ihn in dieser Form zu einer Weltneuheit. „Die Energie, die früher an der Turbine vorbeigeleitet wurde, verpuffte ungenutzt“, führt Hofstetter aus. „Jetzt entsteht aus der Druckregulierung elektrische Energie.“ Das wirkt sich positiv auf den Wirkungsgrad des Motors und damit auf den Kraftstoffverbrauch aus.

„Die Turboaufladung in Kombination mit der Hybridisierung, der Energierückgewinnung, der innermotorischen Reibungsreduktion, der Kühlungsoptimierung und einer optimalen Brennraumgestaltung“, fasst Motorenentwickler Reustle zusammen, „bildet das Rezept, um auch künftige Abgas- und Emissionsgesetze zu erfüllen. Gleichzeitig genügen wir damit den steigenden Ansprüchen an Performance und Effizienz.“ Die Umsetzung dieses Rezeptes, so meint er, sei „eine herausragende Teamleistung aller Beteiligten“.

Der Sechszylinder-Boxermotor des 911 – er bleibt ein kompaktes Kraftpaket. Ganz in der Tradition des innovativen Triebwerkes, das Hans Mezger einst für den Ur-Elfer erfand.

Info

Text erstmals erschienen im Christophorus Magazin, Ausgabe 411.

Autor: Thomas Ammann

Fotos: Porsche

Copyright: Alle in diesem Artikel veröffentlichten Bilder, Videos und Audiodateien unterliegen dem Urheberrecht. Eine Reproduktion im Ganzen oder in Teilen ist ohne schriftliche Zustimmung der Dr. Ing. hc F. Porsche AG nicht gestattet. Bitte kontaktieren Sie newsroom@porsche.com für weitere Informationen.

MEDIA ENQUIRIES



Oliver Hilger

Spokesperson 911 and 718
+49 (0) 170 / 911 3915
oliver.hilger@porsche.de

Verbrauchsdaten

911 Carrera GTS (WLTP)*: Kraftstoffverbrauch kombiniert: 10,6 – 10,1 l/100 km; CO_2-Emissionen kombiniert: 242 – 230 g/km; CO_2-Klasse: G

*Weitere Informationen zum offiziellen Kraftstoffverbrauch und den offiziellen spezifischen CO_2-Emissionen neuer Personenkraftwagen können dem „Leitfaden über den Kraftstoffverbrauch, die CO_2-Emissionen und den Stromverbrauch neuer Personenkraftwagen" entnommen werden, der an allen Verkaufsstellen und bei DAT (Deutsche Automobil Treuhand GmbH, Helmuth-Hirth-Str. 1, 73760 Ostfildern-Scharnhausen, www.dat.de) unentgeltlich erhältlich ist.

Video

https://newstv.porsche.com/porschevideos/289175_de_3000000.mp4

Bildunterschriften

Pfad: Dauerbrenner: die Antriebstechnologie des Porsche 911/Bilder/Bild_1.jpg
Titel: Erster Sechszylinder-Boxermotor von Porsche, 2024, Porsche AG
Bildunterschrift: Das Urgestein: Kompakte Bauweise, hohe Leistungsfähigkeit und geringes Gewicht des ersten Sechszylinder-Boxermotors von Porsche legten das Fundament für alle künftigen Weiterentwicklungen.

Pfad: Dauerbrenner: die Antriebstechnologie des Porsche 911/Bilder/Bild_2.jpg
Titel: Der erste Turbolader, 2024, Porsche AG
Bildunterschrift: Hochdruck: Der erste Turbolader katapultierte den Serien-911 in neue Leistungsdimensionen.

Pfad: Dauerbrenner: die Antriebstechnologie des Porsche 911/Bilder/Bild_3.jpg
Titel: Porsche 911 Carrera GTS, 2024, Porsche AG
Bildunterschrift: Hybridisierung: Das Phantombild zeigt die neu entwickelten Hochvoltkomponenten: 400-Volt-Batterie, E-Maschine im Porsche-Doppelkupplungsgetriebe, elektronische Steuergeräte.

Pfad: Dauerbrenner: die Antriebstechnologie des Porsche 911/Bilder/Bild_4.jpg
Titel: 911, T-Hybrid, Infografik, 2024, Porsche AG
Bildunterschrift: Herzstück: Der neu entwickelte 3,6-Liter-Boxermotor ist ein kompaktes Kraftpaket – ganz in der Tradition aller bisherigen 911-Triebwerke. Das flache Kurbelgehäuse schafft Platz für die Komponenten des T-Hybrid-Antriebes. Die Abbildung oben zeigt das Innenleben des elektrischen Abgasturboladers.

Linksammlung

Link zu diesem Artikel
https://newsroom.porsche.com/de/2024/produkte/porsche-911-carrera-gts-antrieb-technologie-christophorus-411-36731.html

Media Package
https://pmdb.porsche.de/newsroomzips/918ce758-e15c-4f00-a799-1ca3c4ea37b3.zip

Externe Links
https://newsroom.porsche.com/de/pressemappen/911.html
https://christophorus.porsche.com/de.html

Dr. Ing. h.c. F. Porsche Aktiengesellschaft
Porscheplatz 1
70435 Stuttgart