

MOTORENTECHNIK

# Tick, tick, tot

So manche downgesizte Benzindirekt-einspritzer sind tickende Zeitbomben. Sie leiden unter LSPI. Die Krankheit kann bei TCE, T(F)SI, Ecoboost und Co. den Motortod binnen Sekunden bedeuten. Doch es gibt lebensverlängernde Maßnahmen - vom speziellen Motoröl bis hin zu verstärkten Kolben.

Wer zu spät kommt, den bestraft das Leben“, weiß der Volksmund. Doch auch wer zu früh kommt, gehört nicht zwingend zu den Gewinnern. Zum richtigen Zeitpunkt zu kommen, lautet die Devise. Das gilt nicht nur im zwischenmenschlichen, sondern auch im technischen Bereich. Ganz besonders im Fall von Verbrennungsmotoren. LSPI (Low Speed Pre Ignition) heißt eine noch relativ junge Krankheit bzw. Seuche, die sich bei downgesetzten Benzinmotoren mit Direkteinspritzung immer weiter ausbreitet – die Vorentzündung bei niedrigen Geschwindigkeiten.

„Das ist doch quasi wie Klingeln/Klopfen, ein uralter Hut!“, mag da manch gestandener Kfzler denken. Falsch! Genau das ist es nicht: LSPI ist viel desaströser. Denn LSPI kann einen Motor im schlimmsten Fall von einer Sekunde auf die andere dahinraffen. Und zwar derart vehement, dass selbst Experten staunen. Da werden Ringstege von Kolben förmlich herausgerissen oder im Extremfall Kolbenböden in zwei Hälften geteilt. Pleuel werden krumm wie

Fragezeichen gebogen und Lagerschalen kleingehackt. Alles Schäden an Motorteilen, wie es sie bislang nicht gab bzw. nur als Folge eines mechanischen „Anstoßes“.

Doch bei LSPI stößt nichts an, da frisst auch nichts. LSPI ist Explosion pur – im wahrsten Sinne des Wortes. Mit 2.500 m/s<sup>2</sup> breitet sich bei einer solchen Vorentzündung die Flammfront samt entsprechender Druckwelle im Brennraum aus. Zum Vergleich: TNT explodiert mit 3.000 m/s<sup>2</sup> kaum schneller. Klingeln/Klopfen hingegen fällt mit einer Geschwindigkeit von 1.000 m/s<sup>2</sup> deutlich langsamer aus, eine gewöhnliche Verbrennung mit 60 bis 80 m/s<sup>2</sup> geradezu gemächlich. Während Klingeln/Klopfen eine abnormale Verbrennung ist, ist LSPI eine echte Sprengung (Superknock). Und damit nicht genug. Es gibt zahlreiche weitere Unterschiede zwischen Klingeln/Klopfen und LSPI, die Ursache für die verheerende Wirkung von letzterem sind:

- Beim Klingeln/Klopfen entzündet sich der nicht von der Zündkerze entfachte Kraftstoff zur selben Zeit, also zum Zündzeitpunkt. Bei LSPI entfacht sich der sich ungewollt ent-

zündende Kraftstoff viel früher, weit vor dem Zündzeitpunkt.

- Beim Klingeln/Klopfen entsteht eine weitere Flammfront, die der eigentlichen entgegengerichtet ist. Bei LSPI können bis zu 30 separate Flammfronten entstehen, die gegen die eigentliche und sich selbst gerichtet sind.

- Wenn Klingeln/Klopfen entsteht, ist der Kolben bereits nach dem OT, ist also auf dem Weg nach unten. Der Brennraum vergrößert sich massiv und erlaubt der Druckwelle, sich auszudehnen. Zudem ist die Winkelstellung Kolben-Pleuel-Kurbelwelle günstig, die Kraft auf den Kolben wird schnell und unter günstigem Hebel weitergegeben. Wenn LSPI entsteht, ist der Kolben noch vor dem OT. Der Brennraum ist klein und erlaubt der Druckwelle nicht,

sich auszudehnen. Zudem ist die Winkelstellung Kolben-Pleuel-Kurbelwelle ungünstig, die Kraft auf den Kolben kann nicht unter günstigem Hebel weitergegeben werden.

Doch wann kommt es überhaupt zu einer ungewollten Vor-

entzündung? Wie das Kürzel „LS“ bereits verrät, passiert LSPI ausschließlich bei „Low Speed“, bei niedriger Geschwindigkeit, also niedriger Drehzahl. Zudem muss eine weitere Voraussetzung erfüllt sein: Der Motor muss unter (relativ) hoher Last arbeiten. Auf gut Deutsch: Wenn man sehr untertourig fährt, kann es zu LSPI kommen.

### Dann entsteht der Supergau

Ach so, noch eine weitere Voraussetzung begünstigt bzw. ermöglicht überhaupt erst ein LSPI-Ereignis: ein kalter Motor. Der Grund hierfür ist simpel: Im nicht betriebswarmen Zustand verdampfen die Kraftstofftröpfchen nur unvollständig – sie bzw. ihre Energie ist es ja, die besagte ungewollte Verbrennung/Explosion erst ermöglicht. Ein Worst-case-Szenario wäre also z. B. die morgendliche Fahrt aus der Tiefgarage, eine steile Rampe hoch.

Ebenso gibt es mehrere Gründe, weshalb ausschließlich Benzindirekteinspritzer von LSPI betroffen sind: Während beim Saugrohreinspritzer der Kraftstoff einen längeren Weg zurücklegen muss und damit Zeit zum Verdampfen (Vergasen) hat, fehlt ihm

beim Direkteinspritzer dieser Weg – die Zeit zum Vergasen ist gerade mal noch halb so lang. Um wertvolle Zeit für eine ausreichende Kraftstoffluftvermischung zu gewinnen, haben die Entwickler die Zündung bei diesen Motoren weit nach hinten verlegt, oft nach OT. Die Verbrennung selbst läuft entsprechend schnell(er) ab. Das wiederum sorgt dafür, dass z. B. der Kolbenboden länger warm bleibt bzw. generell wärmer ist.

### Diese Rolle spielt das Motoröl

Schlecht für LSPI. Schließlich ist die Kolbenoberfläche eine der Stellen, an denen sich eine LSPI-Explosion ereignet. An ihm bzw. sich auf ihm befindlichen Verbrennungsrückständen („Kohle“) entzünden sich die Kraftstofftröpfchen. Auch an aus dem Ansaugtrakt stammenden Partikeln bzw. von Ventilen und Injektoren abgelösten Partikeln können sich diese anlagern und bei entsprechender Hitze („Glühen“) spontan entzünden.

Doch nicht nur da! Denn abgesehen von dieser begünstigt ein weiterer, quasi konstruktiver Umstand die Entstehung von LSPI: kleinste Öltröpfchen. Sie gelangen zwangsläufig bei jedem Motor in den Brennraum. Der Unterschied zwischen damals und heute, zwischen Saugrohr- und Direkteinspritzer: Letztere Motoren sind optimiert bis zum Gehnichts mehr. Nicht auf maximale Leistung bei minimalem Hubraum, sondern – Stichwort Kraftstoffsparsung – auch auf minimale Reibung. Bei ihnen kommen fast ausnahmslos sogenannte „Dünnöle“ à la 0W-20 zum Einsatz. Sie sind extrem

„Auslöser für LSPI sind oft wechselnde Belastungszustände. Die Laufleistung des Motors spielt hierbei kaum eine bis keine Rolle.“

Rüdiger Krethe, Oildoc

## REPARATURLÖSUNG

kfz-betrieb

### Verbesserte Hardware

Die Firma Motoren Wild ([www.wild-motoren.de](http://www.wild-motoren.de)) hat sich im Laufe der Jahre einen Namen als profunder Problemlöser in der Instandsetzerszene gemacht. Auch beim Thema LSPI hat der unterfränkische Spezialbetrieb eine zeitwertgerechte Reparaturlösung erarbeitet. So bietet



Bild: Dominiksky/kfz-betrieb

Wild im Fall der TSI/TFSI-Motoren des VW-Konzerns verbesserte Kolben an, die der ungewollten Vorentzündung besser standhalten. Sie verfügen über eingegossene Kolbenringstege aus Stahl/Bundmetall, die Kolbenringstegbrüche wirkungsvoll verhindern. Haben Teile des Kolbens die Zylinderlaufbahn noch nicht beschädigt, ist eine Umrüstung sogar bei eingebautem Motor in kurzer Zeit möglich. Auch im Fall spannungsloser/verschlissener Ölabbstreifringe bietet sich diese Reparaturlösung an. Mithilfe einer qualifizierten Oszilloskop-Diagnose ist zudem die zylinderspezifische Lokalisierung eines Kolbenstegbruchs bei laufendem Motor möglich.

Die Druckspitzen bei LSPI (Superknock) können so stark sein, dass Kolben förmlich gesprengt werden.



Bild: Liqui Moly

Kolben eines VW-TSI-Motors: Die gewaltigen LSPI-Druckwellen treffen den Kolbenboden. Die Kraft geht weiter auf die Ringstege, wodurch diese quasi abgesprengt werden.



Bild: Dominsky/\*kfz-betrieb\*

niederviskos. Statt als typische Tröpfchen, also klein mit geringer Oberfläche, lagern sie sich im Brennraum eher in Form von Pfannkuchen, also groß mit ausgedehnter Oberfläche, an. So bieten sie den Kraftstofftröpfchen weit aus bessere Möglichkeiten, sich an ihnen anzuheften. Sie fungieren somit ungewollt als ideale Explosionsbrutstätten.

Doch nun dem Motoröl die Schuld für LSPI in die Schuhe zu schieben, wäre ungerecht und falsch. Motoröl kann ein Auslöser für eine ungewollte Vorentzündung sein, es ist aber nicht die Ursache. Die Ursachen sind konstruktive Eigenschaften und Mängel an Motoren, aus denen Entwickler bis zu 150 PS pro Liter quetschen. Doch welcher Autobauer gibt das schon gerne zu? VW/Audi zum Beispiel nicht. Hier mutieren TS(F)I-Motoren aufgrund massiver Konstruktionsmängel im Bereich Kolben-Zylinderwand im Laufe ihres Lebens zu wahren Ölschluckspechten. Das macht sie besonders anfällig für LSPI.

Aber die OEMs zeigen lieber mit dem Finger aufs Motoröl und rufen um Hilfe. Wen? Na den Ölhersteller! Von ihm verlangen sie einen geänderten Schmierstoff und definieren sogleich eine neue Ölnorm. Prominentes Beispiel ist Opel/GM. Die über rund sieben Jahre vorgeschriebene und für fast sämtliche Motoren gültige Norm „De-

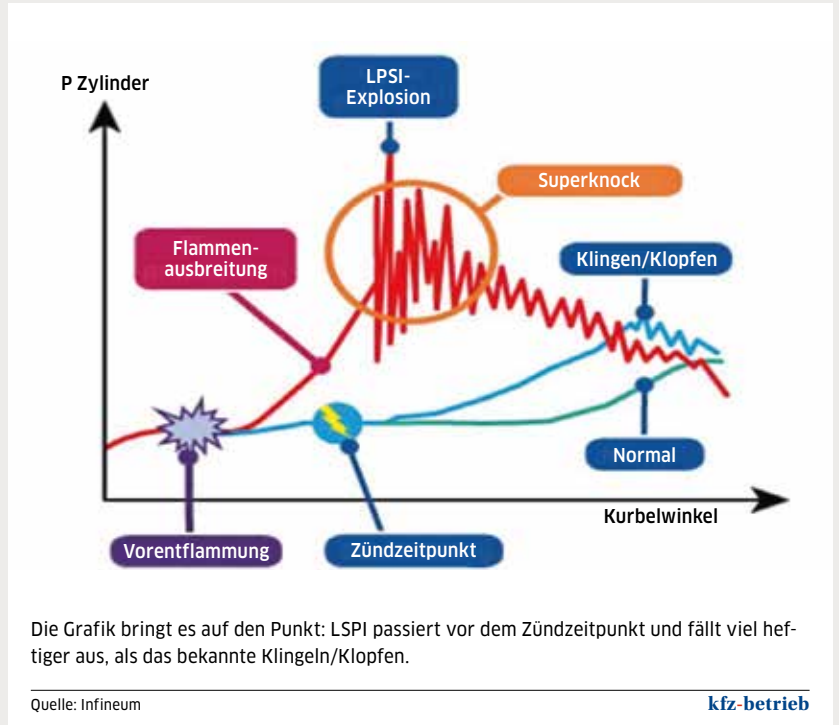
xos 2“ kippte der Hersteller 2017 und ersetzte sie durch „Dexos 1 Gen 2“. Die gilt – oh Wunder – nur für bestimmte Modelle mit Benzindirekteinspritzer.

### Worauf beim Öl zu achten ist

Jan Gerstenberger, Head of Product Management Automotive Aftermarket Europe bei Fuchs, weiß zu berichten: „Auch das American Petrol Institut (API) brachte mit SN Plus eine Erweiterung der SN-Norm heraus. Durch das zusätzliche Testverfahren Sequence IX soll das Risiko für LSPI vermindert werden. Wie alle vorherigen API-S...-Spezifikationen ist auch API SN Plus vollständig rückwärtskompatibel.“ Ja, und was ist jetzt an dieser und Opels neuer Vorschrift anders? Ganz einfach: Entsprechende Öle enthalten geänderte Reinigungsadditive. „Diese haben gro-

ßen Einfluss auf LSPI. So erhöht sich die LSPI-Frequenz und die Intensität der Superknocks, wenn der Kalziumgehalt steigt. Daher sollte ein LSPI-kompatibler Schmierstoff nur begrenzt kalziumhaltige Additive beinhalten“, erklärt Alexandra Taninec, Produktingenieurin bei Total.

Die Erklärung: Was gut für den menschlichen Knochenbau ist, ist schlecht für Benzindirekteinspritzer. Denn vom Stoff, der im Öl als Putzmittel (Detergent) und Neutralisator von Säuren dient, bleibt nach der Verbrennung das übrig, was auch Partikelfilter nicht mögen: Asche. Auf LSPI hin optimierte Motoröle enthalten also weniger aschebildende Bestandteile (siehe Grafik auf S. 21). Auch Natrium steht übrigens im Verdacht, eine Rolle bei LSPI zu spielen.



### LSPI - DIE URSACHEN

kfz-betrieb

## Krankheit Downsizing

Folgende Merkmale sorgen bei kleinen, extrem leistungsstarken Benzinmotoren für eine ungewollte Vorentzündung bei niedrigen Geschwindigkeiten (LSPI):

- Direkteinspritzung mit kurzen Kraftstoffverdampfungszeiten und -wegen sowie die Neigung zur Bildung von Ablagerungen im Ansaugtrakt, aber auch Brennraum.
- Turbolader mit hohen Ladedrücken und damit größerer Tendenz zum „Ölpumpen“ begünstigt die Bildung von Ölkohle im Ansaug- und Brennraum.
- Schnellere und damit heißer ablaufende Verbrennungen begünstigen die Bildung von Glutnestern.
- Extrem dünne Motoröle gelangen leichter in den Brennraum, wo sie mit Kraftstofftröpfchen zusammen ein explosives Gemisch bilden.

Typische Additivkonzentrationen synthetischer PKW-Motorenöle

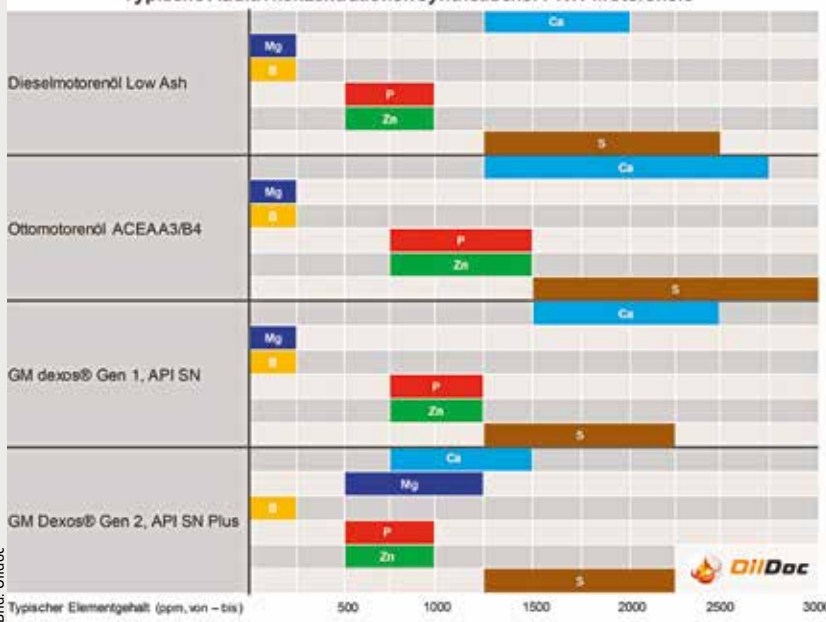


Bild: Oildoc

Motoröle, die LSPI reduzieren sollen, weisen deutlich geringere Anteile von Kalzium auf. Dieses Reinigungs- und Neutralisierungsadditiv haben die Entwickler durch Magnesium ersetzt – siehe unterste Spalte.

Hingegen kommt der europäische Verband der Automobilhersteller (Acea), der eigene Ölnormen herausgibt, nicht aus dem Quark. Bereits für 2018 hatte er eine Ölnorm angekündigt, die auf von LSPI betroffene Motoren hin optimiert sein sollte. Nun ist das Jahr 2019 fast herum und die Norm noch immer nicht veröffentlicht. Gleiches gilt für die im asiatischen Raum relevanten IIsac-Normen: Auch dort wartet man seit Jahren auf die Norm „GF-6“, die speziell der LSPI-Thematik gerecht werden sollen. Viele Ölhersteller haben bereits reagiert, bieten entsprechende „Anti-LSPI“-Öle an bzw. solche, die helfen sollen, das Problem zu minimieren.

Eine weitere Möglichkeit für Halter von Fahrzeugen, deren Motoren Kürzel wie TCE, THP, T(F)SI oder Ecoboost tragen, LSPI zu vermeiden, sind spezielle Kraftstoffadditive. Beispielhaft seien hier der Pro-Line-Direkt-Injection-Reiniger von Liqui Moly oder der Microflex-978-Brennraumreiniger von Tunap genannt. Sie versprechen bzw. ermöglichen eine Reduzierung von Partikeln im Ansaugtrakt bzw. Brennraum, die als Glutnester dienen können.

Doch noch einmal zurück zum eingangs beschriebenen Maximal-Schreckensszenario. Nicht zwangsläufig fallen LSPI-Explosionen als „Big Bang“ aus, der Kolben spaltet und Pleuelstan-

gen verbiegt. Für solch einen Supergau, der tatsächlich binnen Bruchteilen einer Sekunde abläuft und sich weder fühl- noch hörbar ankündigt, müssen etliche Faktoren zusammenkommen. Das ist eher selten der Fall. Viel häufiger läuft LSPI in Form vieler kleinerer Explosionen ab. Die kann der Fahrer bedingt hören und auch fühlen. Der Motor ruckelt dann spürbar – ein Phänomen, mit dem allen voran Opel-Motoren zu kämpfen haben. Das typische Schadbild in diesem Fall: eine durchgepiffene Zylinderkopfichtung oder eine verschlissene/defekte obere Pleuellagerschale. Zugegeben: Die erkennt man schlecht.

**Tipp: Öl jährlich wechseln**

Viel häufiger sprengt es „nur“ den Steg zwischen dem ersten und zweiten Kolbenring ab, teilweise auch zusätzlich den Steg zwischen dem zweiten und dritten. Da dieser nicht weg kann und von den Ringen weiterhin geführt wird, läuft ein solcher Motor nach wie vor. Der einzige Unterschied: Er braucht (noch) mehr Öl bzw. glänzt mit Leistungsverlust. Wegschmeißen muss man ihn deshalb nicht. Experten wie Motoren Wild (siehe Kasten auf S. 19) bieten hier zeitwertgerechte Reparaturlösungen an.

Damit es für Besitzer eines downgesetzten Benzindirekteinspritzers nicht so weit kommt, sollte die Werkstatt ihm



Bild: Fuchs

Für LSPI anfällige Motoren sollten mit Ölen gemäß API-Norm „SN Plus“ befüllt werden. Die meist nur auf der Rückseite im Kleingedruckten ablesbare Angabe findet man an der Vorderseite oft in Form des Hinweises „Dexos 1 Gen 2“.



Bild: Liqui Moly Tunap

Den Ansaug- bzw. Brennraum reinigen Additive können LSPI vorbeugen bzw. es mindern.

zu einem Öl raten, das die API-Norm „SN Plus“ erfüllt. Ausnahme: Opel schreibt dieses Öl konkret vor. „Kurzstreckenfahrer sollten das Öl jährlich wechseln lassen, auch wenn Betriebsanleitung bzw. die Bordelektronik anderes sagen“, rät Rüdiger Krethe, Geschäftsführer bei Oildoc, einem der führenden Ölanalyselabore hierzulande. Auch die Verwendung von Additiven, die den Ansaug-/Brennraum reinigen, kann LSPI vorbeugen. Und wie gesagt, auch die Fahrweise hat Einfluss auf das Ereignis. Das heißt, hohe Last bei niedriger Drehzahl und kaltem Motor vermeiden. Schließlich ist so ein Motor auch nur ein Mensch. Und wer Sport macht weiß: erst aufwärmen, dann anstrengen! Sonst drohen mechanische Schäden wie Zerrungen und Risse – gar nicht gut. STEFFEN DOMINSKY

**NOCH FRAGEN?**

Steffen Dominsky, Redakteur



„Motoröl kann LSPI begünstigen. Es ist aber keineswegs der Verursacher. Der bzw. die sind konstruktive Mängel an hochgezüchteten Downsizing-Motoren. Werkstätten sollten bei diesen zu Ölen greifen, die die Norm ‚API SN Plus‘ erfüllen.“

☎ 0931/418-2571  
✉ steffen.dominsky@vogel.de