

---

## Abstract

In the present work the water recovery from the gasoline exhaust gas has been investigated. The aim is to clarify if exhaust condensate could represent a source for a motor water injection system.

When the exhaust gas of a gasoline engine is cooled down under its water dew point, approximately 53 °C, the water vapour coming mostly from the gasoline combustion begins to condense. After that, lead a further cooling to greater condensate rates. On the other side, the vaporization of this condensed water within the charge air intake accomplishes a beneficial cooling, which allows the motor to operate more efficiently or/and with a higher performance due to its antiknock effect.

Several simulations have been carried out using the commercial software EES (Engineering Equation Solver). The first model is able to predict the water requirement of an injection system for an air charge cooling application and to calculate the achievable cooling effect. The here investigated motor would require maximal 2.5 l/h condensed water and would experiment an air charge cooling effect of about 15 °C depending on air initial water content, temperature and charge pressure. The second developed model reproduces the heat and mass transfer during the exhaust water condensation process in presence of non condensables and is based on empirical correlations.

The use of the simulations models enabled the design of an exhaust gas condenser for supplying the calculated water demand and which has been tested on a prototype car. The experimental results obtained with the condenser show a good agreement between simulation and experiment, with a maximal error of 28 % depending mainly on the collecting temperature level.

The collected condensate samples have been analyzed in the laboratory. Sulfuric and nitric and nitrous acids as well as ammonia are the most significant pollutants in the condensed water, even when in very low concentrations (ppm range). Theoretical analyses of their binary mixture acid- water dew points and experimental data show a pollutant dilution effect in water by further cooling under the water dew point. Anyway, the samples collected under stoichiometric conditions showed an electrical conductivity even below the tap water value, which is a characteristic of the water contamination.

**Keywords:** exhaust gas condensation, water recovery, dew point, condensate injection system

---

## Kurzfassung

In der aktuellen Forschungsarbeit wurde die Wassergewinnung aus dem Abgas des Verbrennungsmotors untersucht. Das Ziel ist es festzustellen, ob Kondensat aus dem Abgas als geeignete Quelle für eine Wassereinspritzung in den Motor dient.

Wenn das Abgas eines Verbrennungsmotors, welches größtenteils aus der Kraftstoffverbrennung stammt, unter seinen Wassertaupunkt von ungefähr 53 °C abkühlt wird, beginnt es zu kondensieren. Um eine höhere Abkühlung und dadurch eine höhere Kondensierung zu erzielen, wird das Abgas noch weiter gekühlt. Auf der anderen Seite führt die Verdunstung des kondensierten Wassers innerhalb der Ladeluft zu einer nützlichen Abkühlung dieser, wodurch der Motor effizienter arbeitet, oder, aufgrund des Anti-knock-Effekts, eine höhere Leistung erzielt.

Verschiedene Simulationen wurden mithilfe der Software EES (Engineering Equation Solver) durchgeführt. Das erste Modell ist in der Lage den Wasserverbrauch eines Einspritzsystems ins Saugrohr und den zu erreichenden Kühlungseffekt, vorherzusagen. Der in dieser Arbeit untersuchte Motor verbraucht maximal 2.5 l/h Kondenswasser und bewirkt einen Ladeluft-Kühlungseffekt von ca. 15 °C, abhängig von der Luftleuchte der Außenluft, der Lufttemperatur und des Ladedrucks. Das zweite untersuchte Modell reproduziert den Wärme- und Stofftransport während des Kondensierungsprozesses in Anwesenheit von nicht kondensierbaren Stoffen und basiert auf empirischen Korrelationen.

Die Ergebnisse der Simulationsmodelle ermöglichen das Design des Abgaskondensators um die erforderliche Wassermenge zur Verfügung zu stellen und es an einem Prototypenfahrzeug zu testen. Die experimentellen Ergebnisse erzielten eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment mit einer maximalen Abweichung von 28 %, hauptsächlich abhängig vom Niveau der Kühlungstemperatur.

Die gesammelten Kondensatproben wurden im Labor analysiert. Sulfat- und Nitratsäuren sowie Ammoniak sind die am meisten vertretenen Verunreinigungen im Kondenswasser, wenn auch nur in niedrigen Konzentrationen (ppm-Bereich). Die theoretische Analyse der Säuren-Wasserdampf-Gemischen im Abgas zeigt einen Schadstoff-Verdünnungseffekt durch eine weitere Kühlung unter dem Wassertaupunkt. Die Proben, welche unter stöchiometrischen Bedingungen gesammelt wurden, zeigten eine elektrische Leitfähigkeit sogar unterhalb der von Leitungswasser, was ein Maß für die Reinheit des Wassers darstellt.