



# Kurzfassung

## Vergleichende Ökobilanz von SunDiesel (Choren-Verfahren) und konventionellem Dieselkraftstoff

im Auftrag der Volkswagen AG  
und der DaimlerChrysler AG

September 2004

VOLKSWAGEN AG



DAIMLERCHRYSLER

**Kurzfassung:**

**Vergleichende Ökobilanz von SunDiesel (Choren-Verfahren) und konventionellem Dieselkraftstoff**

**Auftraggeber: Volkswagen AG und DaimlerChrysler AG**

**Autoren:**

**Dr. M. Baitz<sup>(1)</sup>, M. Binder<sup>(1)</sup>, Dr. W. Degen<sup>(2)</sup>, Dr. S. Deimling<sup>(1)</sup>, Dr. S. Krinke<sup>(3)</sup>,  
M. Rudloff<sup>(4)</sup>**

**September 2004**

(1) PE-Europe GmbH, Hauptstr. 111-113, 70771 Leinfelden-Echterdingen

(2) DaimlerChrysler AG, HPC G 207, 70546 Stuttgart, winfried.degen@daimlerchrysler.com

(3) Volkswagen AG, Recycling und Umweltbilanzen, Brieffach 1774, 38436 Wolfsburg,  
stephan.krinke@volkswagen.de

(4) Choren Industries GmbH, Unternehmensentwicklung, Frauensteinerstr. 59, 09599 Freiberg,  
matthias.rudloff@choren.de

## Einführung und Hintergrund

Für eine nachhaltige Mobilität gewinnt die Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Quelle für zukünftige Kraftstoffe zunehmend an Bedeutung. Aktuelle Schätzungen gehen davon aus, dass ca. 20% des europäischen Kraftstoffbedarfs zukünftig auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen sichergestellt werden könnten.

Die Automobilhersteller DaimlerChrysler und Volkswagen verfolgen gemeinsam das Ziel, synthetische Kraftstoffe aus Biomasse nach dem Biomass-To-Liquids Prozess (BTL) in Zusammenarbeit mit den Herstellern zu fördern und in verbrennungsmotorischen Antrieben einzusetzen [Dr. Steiger, Dr. Heinrich, Prof. Kohler; Techn. Kongress 2003 (VDA), 02. - 03. April 2003, Wolfsburg „Regenerativ erzeugte Kraftstoffe“].

Im Gegensatz zu Kraftstoffen auf Basis fossiler Rohstoffe besitzen BTL-Kraftstoffe ein hohes Einsparpotenzial von Treibhausgasen, da Pflanzen beim Wachstum CO<sub>2</sub> aufnehmen und damit eine CO<sub>2</sub>-Senke darstellen.

Um die ökologisch-technischen Potenziale von BTL-Kraftstoffen korrekt einzuschätzen, sind die spezifischen Charakteristika (z. B. technische Situation und Randbedingungen, relevante Umweltwirkungen) über den gesamten Lebensweg einzubeziehen.

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine vergleichende Ökobilanz von SunDiesel und konventionellem Dieselmotorkraftstoff im Sinne der DIN EN ISO 14040ff. Die Studie wurde von der Firma PE-Europe GmbH im Auftrag der Unternehmen Volkswagen und DaimlerChrysler erstellt und durch einen externen, unabhängigen Sachverständigen auf Konformität im Sinne der DIN EN ISO 14040ff geprüft.

## Vorgehensweise und untersuchte Szenarien

SunDiesel im Sinne der hier vorgelegten Untersuchung ist ein Kraftstoff, der durch die Vergasung von Restholz mit nachgeschalteter Fischer-Tropsch-Synthese nach dem Choren-Verfahren hergestellt wird. Konventioneller Diesel wird aus Rohöl im Raffinerieprozess erzeugt. Die Studie verfolgt einen Lebenszyklus-Ansatz d.h. es werden von der Erzeugung der Rohstoffe bis zur Nutzung des Kraftstoffs alle Prozesse entlang der Wertschöpfungskette mit in die Untersuchung einbezogen. Die Daten des Choren-Prozesses basieren auf Auslegungsdaten der im Bau befindlichen 43 MW-Anlage in Freiberg unter Berücksichtigung von Messdaten der bestehenden Pilotanlage. Die Daten der Nutzungsphase gelten für ein modernes Dieselfahrzeug nach EU 4 Norm. Die Emissionsreduktionspotentiale beim Betrieb des Fahrzeugs mit SunDiesel wurden von den Projektpartnern Volkswagen und DaimlerChrysler ermittelt. Daten für die Holzherstellung und die Transportketten sind der Literatur entnommen. Für das Referenzsystem „konventioneller Diesel“ wurde von PE-Europe ein detailliertes Ökobilanz-Modell erstellt.

Im Rahmen der Studie wurden drei Szenarien mit mehreren Parametervarianten untersucht:

- Das **„Basis-Autark-Szenario“** repräsentiert den aktuellen Planungstand des Choren-Prozesses am Standort Freiberg. Es wird dabei die Möglichkeit genutzt, aus der Biomasse (Holz) auch den für den Prozess benötigten Strom und Wasserstoff - über die homogene Wassergasreaktion - sowie die technischen Gase Sauerstoff und Stickstoff - über Luftzerlegung - zu erzeugen. Die Anlage arbeitet somit autark und bedarf nahezu keiner Zufuhr von externer Energie oder externen Betriebsstoffen.
- Das **„Zukunft-Szenario“** repräsentiert die Möglichkeit Energie und die benötigten Gase Wasserstoff und Sauerstoff auf Basis regenerativer Energie extern zuzuführen bzw. herzustellen. Bei dieser - zu einem späteren Zeitpunkt realisierbaren Variante - lässt sich die Ausbeute an SunDiesel pro kg eingesetztem Holz deutlich steigern.
- Das **„Teil-Autark-Szenario“** stellt eine weitere sofort umsetzbare Option dar. Es basiert auf der prozessinternen Erzeugung des Wasserstoffs über die homogene Wassergasreaktion. Sauerstoff und Stickstoff werden extern (aus konventioneller Herstellung) zugekauft und Strom aus dem deutschen Netz bezogen. Das Teil-Autark-Szenario kann technisch und wirtschaftlich als gleichwertig zum Basis-Autark-Szenario angesehen werden.

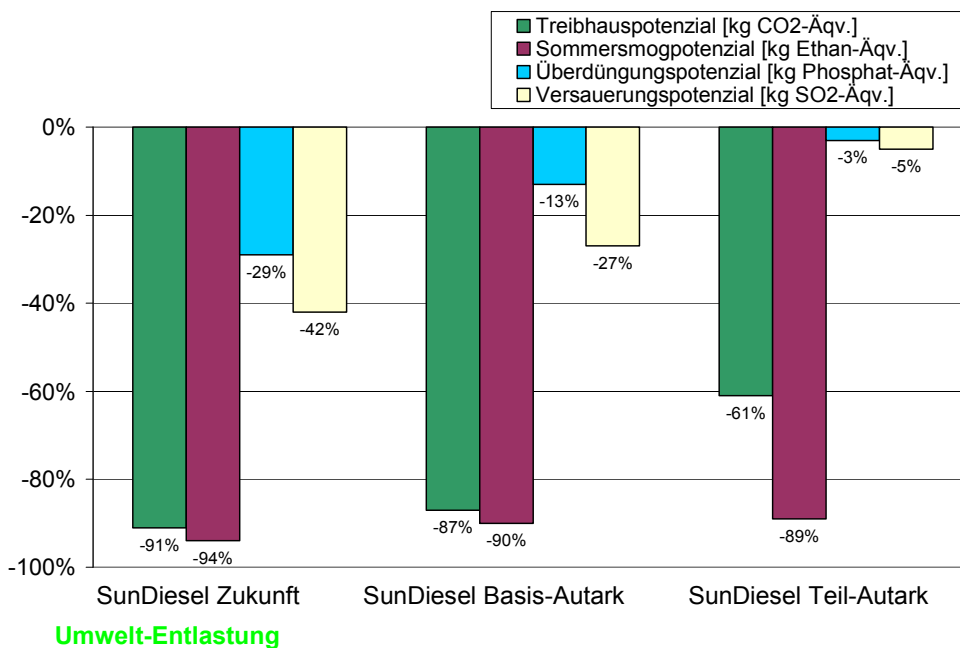
# Resultate

Wesentliche Randbedingungen und Ergebnisse sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

	Szenario		
	Zukunft	Basis-Autark	Teil-Autark
Holz Transport Wald > Choren-Anlage	50 km		
Kraftstoff Transport Choren-Anlage > Tankstelle	50 km		
Sensitivitätsanalysen	100% Stammholz als Biomasse Input Transportentfernung Wald-Choren-Anlage 200 km Transportentfernung Choren-Anlage – Tankstelle 100 km		
Massen-Verhältnis Biomasse [kg] zu Diesel [kg]	≈ 3,4 : 1 (35 % H <sub>2</sub> O) ≈ 2,2 : 1 (atro)	≈ 9,3 : 1 (35 % H <sub>2</sub> O) ≈ 6 : 1 (atro)	≈ 7,5 : 1 (35 % H <sub>2</sub> O) ≈ 4,9 : 1 (atro)
Wirkungsgrad Chorenprozess [%] (Hu Output / Hu Input)	≈ 64 %	≈ 45 %	≈ 55 %
Treibhauspotenzial bzgl. konventionellem Diesel	-91 %	-87 %	-61 %

**Tabelle 1: Randbedingungen und Ergebnisse der drei Szenarien**

In einer Ökobilanz werden neben dem Treibhauspotenzial weitere Umweltaspekte untersucht. Die Ergebnisse für die ermittelten Umweltpotenziale von SunDiesel in den Umweltwirkungen Treibhaus-, Sommersmog-, Überdüngungs- und Versauerungspotenzial der drei Szenarien unter aktuellen Transport- und Holzbereitstellungsbedingungen in Bezug auf konventionellen Diesel sind in Abbildung 1 gezeigt. Negative Werte bedeuten, dass SunDiesel im Vergleich zum konventionellen Diesel ökologische Vorteile aufweist. Das „Basis-Szenario Autark“ und das „Zukunft-Szenario“ zeigen hohe Einsparpotenziale in allen untersuchten Aspekten, besonders bei Treibhauspotenzial und Sommersmog. Das „Teil-Autark-Szenario“ zeigt noch deutliche Einsparpotenziale beim Treibhauspotenzial und Sommersmog. Bei der Versauerung und beim Überdüngungspotenzial sind die Umwelteinsparungen im Vergleich zu konventionellem Diesel nur noch gering ausgeprägt.



**Abbildung 1: Umweltentlastungspotenziale verschiedener Technologieszenarien gegenüber konventionellem Diesel**

Als das Ergebnis dominierend, haben sich neben der Nutzungsphase (Verbrennung des Kraftstoffs im Motor), die Bereitstellung des benötigten Stromes und der Gase Sauerstoff und Stickstoff, besonders aber des Wasserstoffs sowie die Holzbereitstellungskette herausgestellt. Der Choren-Prozess weist am Standort vergleichsweise geringe Emissionen auf.

In der Studie konnte gezeigt werden, dass SunDiesel nach dem Choren-Verfahren in den untersuchten Umweltwirkungen bei aktuellen Randbedingungen der Holzversorgung und Transportentfernungen ökologische Einsparpotenziale im Vergleich zu konventionellem Diesel aufweist. Diese Aussage wurde in allen Szenarien erhalten.

Die verringerten Umweltlasten in der Kategorie **Treibhauspotenzial** beruhen in erster Linie auf der Nutzung von Holz als Rohstoff zur SunDiesel-Produktion. Da Holz in der Wachstumsphase durch die Photosynthese CO<sub>2</sub> aufnimmt, stellt die Holzproduktion eine Netto-CO<sub>2</sub>-Senke dar.

Die verringerten Umweltlasten in der Kategorie **Sommersmogbildungspotenzial** beruhen auf zwei Effekten:

- (a) den nicht auftretenden Kohlenwasserstoff-Emissionen, die bei der Förderung und Raffination von Rohöl zur Dieselproduktion anfallen<sup>1</sup>.
- (b) den verringerten Kohlenwasserstoff-Emissionen im Abgas bei der Nutzung von SunDiesel anstelle von konventionellem Diesel in PKW-Verbrennungsmotoren. Diese geringeren Kohlenwasserstoff-Emissionen lassen sich ohne Änderungen im Verbrennungsmotor bereits bei heute im Verkehr befindlichen Dieselfahrzeugen realisieren. Die in dieser Studie zugrunde gelegten geringeren Kohlenwasserstoff-Emissionen beziehen sich auf Diesel-PKW, die dem Abgasstandard EU 4 genügen.

Diffuse Kohlenwasserstoff Emissionen der Choren Anlage wurden vernachlässigt. Diese Datenlücke wurde gebilligt, da sie als relativ unbedeutend eingeschätzt wurde.

Bei den Umweltpotenzialen der Versauerung und Überdüngung zeigen sich die Vorteile allgemein weniger deutlich und reagieren teilweise sensibler auf Veränderungen von externer Energie, Hilfsstoffen und der Variation der Transportentfernungen und Holzart.

Im Weiteren wurde untersucht wie sich die Ergebnisse der Studie ändern wenn

- die Transportentfernungen für den Transport des Holzes vom Wald zur Choren-Anlage vergrößert werden
- Stammholz anstelle von Restholz eingesetzt wird; d.h. die vollen ökologischen Lasten des Holzanbaus dem SunDiesel zugeordnet werden

Im Detail bedeutet das bei den verschiedenen Szenarien folgendes:

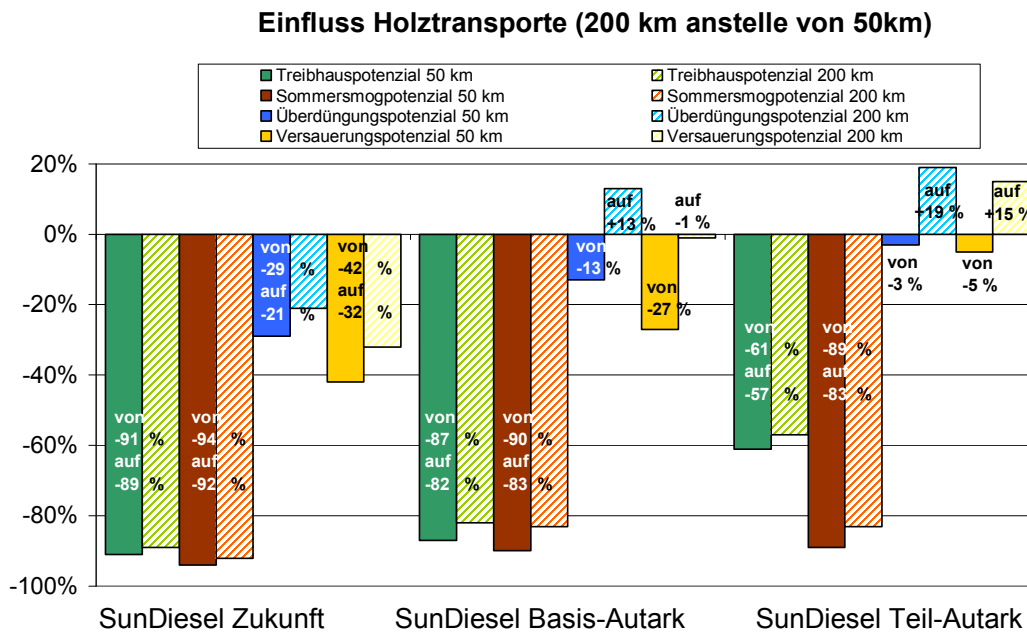
Das **Zukunft-Szenario** weist unter Annahme aktueller Randbedingungen für Transportentfernungen und Holzart und einer regenerativen Stromwirtschaft die höchsten Einsparpotenziale bei allen analysierten ökologischen Wirkungen auf, falls SunDiesel in der Zukunft konventionellen Diesel aktueller Herstellungsart ersetzen würde. Auch der Einfluss längerer Transporte (siehe Abbildung 2) oder die Verwendung von Stammholz (siehe Abbildung 3) würde beim SunDiesel noch zu geringeren ökologischen Belastungen als bei konventionellem Diesel führen. Die Veränderungen hinsichtlich Treibhaus- und Sommersmogpotenzial sind bei längeren Holztransporten oder Stammholzverwendung nur sehr gering.

Das **Basis-Autark-Szenario** weist unter den aktuellen Randbedingungen der Transportentfernungen und Holzart in Relation zum konventionellen Diesel ebenfalls deutlich geringere ökologische Auswirkungen aller untersuchten Umweltpotenziale auf. Sollte die Transportentfernung vom Wald zur Anlage bei dieser Betriebsweise über 120 km steigen oder mehr als 60 % Stammholz eingesetzt werden, sind die Umweltbelastungen bei Treibhaus-, Sommersmog- und Versauerungspotenzial weiterhin geringer als bei konventionellem Diesel, jedoch ab diesen Break-Even-Punkten die Umweltbelastung durch Überdüngung leicht höher als bei konventionellem Diesel. Die Umweltentlastung von SunDiesel gegenüber konventionellem Diesel bezüglich Treibhaus- und Sommersmogpotenzial beträgt auch bei Variation der Transportentfernung oder der Holzart noch über 80 %.

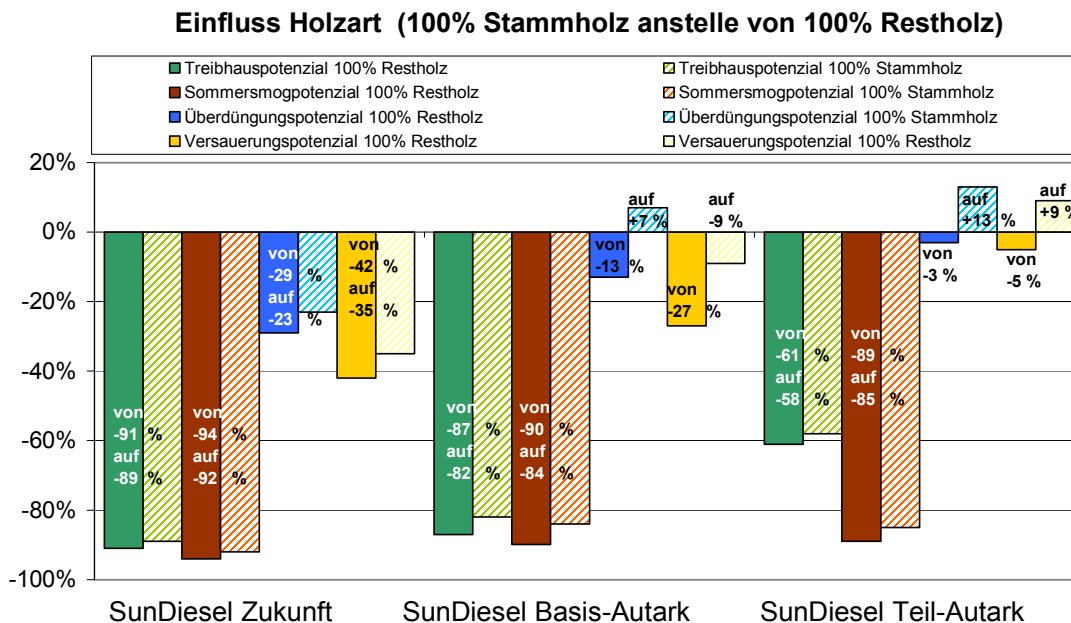
---

<sup>1</sup> Da die NMVOC Emissionen der konv. Dieselherstellung je nach Informationsquelle und Datenbank schwanken, ist mit einer gewissen Datenunsicherheit an dieser Stelle zu rechnen. Untersuchungen der Studie zeigen jedoch, dass auch bei Berücksichtigung dieser Unsicherheiten der Trend zur Reduzierung des Sommersmogpotenzials durch SunDiesel bestehen bleibt.

Das **Teil-Autark-Szenario** weist bei den heutigen Randbedingungen für Treibhaus- und Sommersmogpotenzial ebenfalls noch deutliche Vorteile gegenüber konventionellem Diesel auf. Beim Überdüngungs- und Versauerungspotenzial sind dagegen nur geringe Vorteile vorhanden. Sollte die Transportentfernung vom Wald zur Anlage bei dieser Betriebsweise über 70 km steigen oder mehr als 20 % Stammholz eingesetzt werden, sind ab diesen Break-Even-Punkten die Umweltwirkungen Überdüngung und Versauerung mit steigender Entfernung und steigendem Stammholzanteil etwas höher als beim konventionellem Diesel. Die Umweltentlastung von SunDiesel gegenüber konventionellem Diesel beträgt bei Variation der Transportentfernung bzw. der Holzart für das Treibhauspotenzial 57 % und das Sommersmogpotenzial 83 %.



**Abbildung 2: Veränderung der Wirkungspotenziale bei Verlängerung des Holztransportwegs. Negative Zahlen bedeuten eine Verbesserung im Vergleich zu den Wirkungen von konventionellem Dieselkraftstoff.**



**Abbildung 3: Veränderung der Wirkungspotenziale bei Einsatz von 100% Stammholz anstelle von 100% Restholz. Negative Zahlen bedeuten eine Verbesserung im Vergleich zu den Wirkungen von konventionellem Dieselkraftstoff.**

Es konnte gezeigt werden, dass SunDiesel ein großes Potenzial hat, deutlich weniger **treibhausrelevante Emissionen** als konventioneller Diesel freizusetzen und positiv zum Klimaschutz beitragen kann. Ferner wurde gezeigt, dass SunDiesel weitgehend unabhängig von variierenden Rahmenbedingungen auch weniger Umweltbelastungen im Bereich **Sommersmogpotenzial** erwarten lässt. Bei den Umweltwirkungen **Versauerung und Überdüngung** wurde ermittelt, unter welchen Bedingungen von Transport- und Holzversorgung noch mit geringeren Umweltbelastungen als bei konventionellem Diesel zu rechnen ist.

SunDiesel nach dem Choren-Verfahren kann somit einen Beitrag zur Reduzierung der Umweltlasten in den untersuchten Wirkungen leisten. Dies gilt insbesondere in den Bereichen Treibhaus- und Sommersmogbildungspotenzial.