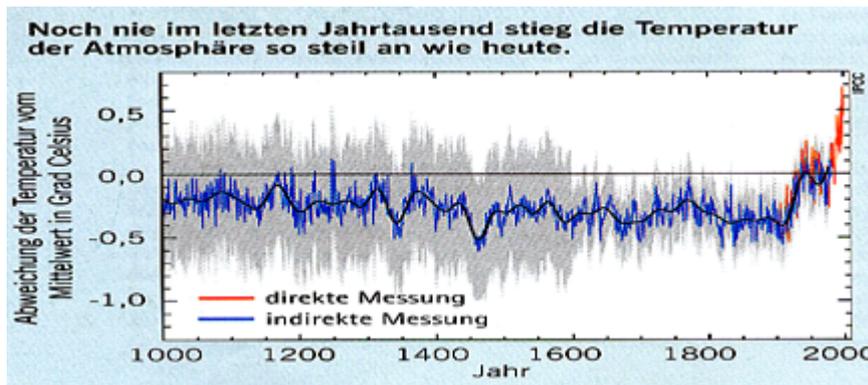


# Emissionsverminderung: Planung und Bau eines Solar/Elektromobils

Alexander Reichardt, Alexander Hertz, Michael Strüder, Raj Pal Kharabanda, Tatjan Urich  
 von der Internatsschule Lucius, Physik AG

## 1. Einleitung

Die Natur bzw. Umwelt, in der wir leben, ist durch uns bedroht. Je mehr Schaden wir ihr zufügen, desto mehr gefährden wir uns selbst. Die hauptsächlichen Verursacher sind der Verkehr, die Industrie, die Kraftwerke und die Hausheizungen. Besonders gefährlich ist der in industrie- und verkehrsreichen Ballungsgebieten drohende „Smog“, eine Mischung aus Rauch (smoke) und Nebel (fog). Dieser Smog kann bei winterlichen Hochdruckwetterlagen auftreten, wenn entgegen der üblichen Luftschichtung leichte warme Luft über einer schweren Kaltluftschicht lagert (Inversion), so dass kein Luftaustausch mit höheren Luftschichten stattfinden kann. Bei längerer Dauer der Inversionswetterlage reichern sich die Schadstoffe der Abgase der Autos, Heizungen und Industriekamine in gesundheitsgefährdenden Konzentrationen an. Diese schädlichen Konzentrationen beeinträchtigen sowohl uns Menschen als auch Tiere und Pflanzen. Ein Überschreiten des für einen Schadstoff festgelegten Grenzwertes in der Luft führt deshalb zu Smogalarm, wie zum Beispiel letzten Winter in Italien.



Ein weiteres Problem für die Umwelt ist die CO<sub>2</sub>-Produktion bei Verbrennungsmotoren, die nach Meinung von UN-Experten mit anderen Verursachern dafür verantwortlich sind, dass sich in diesem Jahrhundert die Temperatur um 1,4 °C bis 5,8 °C erhöht und der Meeresspiegel auf Grund dieser Tatsache um 9 bis 88 Zentimeter steigt. Die Folge: Überschwemmungen in tiefer gelegenen Gebieten und zunehmende Unwetter mit verheerendem Einfluss auf Mensch und Natur. Als jüngstes Beispiel ist hier die „Jahrhundertflut“ in Deutschland zu nennen, die viele Städte, Dörfer und Landstriche verwüstete und zahllose Existenzen zerstörte.

Auf der Klimakonferenz von Kyoto hatten sich zwar die Staaten geeinigt, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu verringern, aber insgesamt ist er weiter angestiegen, da unter anderem die U.S.A., die mit einem Ausstoß von 20,5 Tonnen/ Jahr und Kopf maßgeblich beteiligt sind, aus den Vereinbarungen ausgestiegen sind.

Auf Grund dieser vielen Probleme, mit denen unsere Umwelt zu kämpfen hat, haben auch wir uns überlegt, wie wir sowohl einen kleinen Beitrag zum Natur/Umweltschutz leisten als auch andere Menschen anregen können, sich ebenfalls in jener Thematik zu engagieren. Demzufolge sind wir zu dem Ent-

schluss gekommen, ein Solarmobil zu entwickeln, um somit zur Verringerung der Luftverschmutzung beizutragen.

## 2. Planung und Verbrauchsabschätzung

Ausgehend von einem dreirädrigen Liegefahrrad, das an unserer Schule vorhanden war, wollten wir ein möglichst sparsames Mobil entwickeln, das etwa einem Motorroller oder Moped entspricht, aber zusätzlich einen Regenschutz bietet.

Ein Motorroller hat etwa einen Energieverbrauch von 3,5 Litern Benzin auf 100 km und die entsprechenden Emissionen (siehe Tabelle).

Schadstoffe	motorisiertes Zweirad	Emissionen in kg/100Pkm
Kohlendioxid	18	Quelle: Deutsche Bank Research
HC- Gesamt	0,23	Strategien gegen den Verkehrs-
Stickstoffoxid	0,22	infarkt
Kohlenmonoxid	1,1	

Der hohe Energieverbrauch des Rollers kommt sowohl durch den ungünstigen Luftwiderstand als auch durch den schlechten Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors zustande. Nimmt man einen Elektromotor mit gutem Wirkungsgrad, so wird, wenn man ihn mit „Strom aus der Steckdose“ speist (Akkuladung), ein großer Teil des Vorzugs wieder aufgehoben. Denn der „Steckdosenstrom“ wird zum größten Teil aus fossilen Energien/ Kernenergie gewonnen und zwar mit schlechtem Wirkungsgrad und somit hohem Primärenergiebedarf. Benutzt man dagegen erneuerbare Energien, so lässt sich der

Primärenergieverbrauch drastisch senken (siehe folgende Tabelle), außerdem fallen beim Betrieb des Mobils bzw. der Energieanlage keine Kohlenstoffdioxid- bzw. sonstige Emissionen an.

	Kraftstoffverbrauch in kWh/ 100 km	Primärenergiebedarf in kWh/ 100 km
<b>Elektroauto mit Strom aus Europ. Kraftwerkmix</b> (Antrieb mit fossilen Brennstoffen)	21,7	58,6
<b>Elektroauto mit Strom aus erneuerbaren Energien</b>	21,7	25,1

(Quelle: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: STB- Bericht Nr. 22)

Also wäre es am günstigsten, einen Elektromotor zu benutzen, der durch erneuerbare Energien angetrieben wird und ein Fahrzeug mit geringem Luftwiderstand zu bauen.

Zunächst entwarfen wir Karosserien und überlegten, wie und mit welchen Materialien wir sie verwirklichen könnten. Auch einen Segelflugzeugrumpf bezogen wir in unsere Überlegungen mit ein. Durch einen glücklichen Zufall fanden wir dann einen Karosserierohling. Dieser passte allerdings nicht zu

unserem Fahrgestell. Mit diesem Rohling konnten wir allerdings etwa den Energieverbrauch abschätzen.

Die benötigte Leistung  $P$  ergibt sich aus Rollreibung und Luftwiderstand:

$$P = \mu m g v + 0,5 c A \rho v^3$$

Für eine Geschwindigkeit  $v$  von 45 km/h, eine abgeschätzte Masse  $m$  von 150 kg, einen geschätzten Luftwiderstandsbeiwert  $c$  von 0,2, einer gemessenen Querschnittsfläche  $A$  von 1 m<sup>2</sup> und einem gemessenen Rollwiderstandsbeiwert  $\mu$  von 0,005 ergibt sich eine benötigte Antriebsleistung  $P$  von etwa 345 Watt. Bei einem angenommenen Wirkungsgrad des Motors von 0,8 ergibt sich eine Einspeiseleistung von 432 Watt. Das bedeutet wiederum einen Energiebedarf von 961 Wattstunden auf 100 km oder umgerechnet zum Vergleich (10 kWh entsprechen 1 Liter Benzin): ca. 0,1 Liter Benzin auf 100 km.

Selbst wenn wir bei unseren Schätzungen zu blauäugig gewesen sein sollten, müsste eigentlich mit dem geplanten Mobil der Energieverbrauch eines Rollers (s.o.) bei weitem unterboten werden können.

### 3. Umsetzung

Der folgende Teil unserer Arbeit befasst sich hauptsächlich mit der Umsetzung von der Theorie in die Praxis. Er wird Aufschluss darüber geben, welche Probleme bei der Umsetzung der Ziele auftraten, inwieweit einzelne Komponenten an unserem Projekt erfolgreich durchgeführt werden konnten, welche weniger erfolgreich waren und was wir uns in Zukunft noch vorstellen, um das Solar-/ Elektromobil zu verbessern.

#### 3.1. Anpassung der Karosserie an den Rahmen

Der Rahmen ist ein ca. 1,50 m langer Aluminiumkomplex, an dem mittig zu beiden Seiten Radaufhängungen, Lenkschubstangen, Flanschverbindung sowie die Antriebswellen für den Tretantrieb zu den Rädern gehen, die dann sowohl für den Antrieb als auch für das Lenken zuständig sind. Des Weiteren befindet sich am hinteren Ende des Rahmens ein drittes Rad, welches wir als weiteres Antriebsrad verwenden wollten. Der Rahmen war sozusagen der Stein des Anstoßes dafür, daraus ein Solarmobil zu bauen, mit dem es später auch möglich sein soll Rallyes zu bestreiten.

Bei dem Bau des Solarmobils war es vor allem unser Ziel, eine gute Aerodynamik mit einem geringen Gewicht sowie ausreichende Motorleistung zu verbinden. Um allerdings zunächst eine gute Aerodynamik zu erhalten, war es von großer Wichtigkeit, eine gute Karosserie zu bekommen, welche ausserdem so wenig wie möglich wiegen sollte. Das Hauptproblem bei der Karosserie, welche wir nach einigen eigenen Entwürfen als Rohling ergatterten konnten, lag darin, dass sie in der Breite um 5,2 cm zu groß war. Demnach war es anfangs unmöglich den Rahmen in die Karosserie zu schrauben.

Da es nicht möglich war, Radaufhängung, Flanschverbindung, Antriebswellen und Lenkschubstangen zu verlängern, waren wir gezwungen, die Karosserie einer Schlankheitskur zu unterziehen. Dafür haben wir zunächst im Abstand von ca. 10 cm Punkte gezeichnet, die exakt 2,6 cm links und rechts in der

Mitte lagen. Anschließend mussten die gezeichneten Punkte miteinander verbunden werden, damit wir eine relativ gerade Linie bekamen, an der man die Stichsäge entlang führen könnte. Es war allerdings aus dem Grund so schwierig eine halbwegs gerade Linie zu ziehen, da man bei den starken Rundungen der Karosserie nicht einfach das Lineal anlegen konnte. Doch als auch das durch einige Tricks geschafft war, konnten wir endlich ans Sägen gehen, worauf wir schon alle gewartet hatten.

Beim Sägen zeigte sich auch schon gleich das nächste Problem. Führte man die Stichsäge zu schnell durch das GFK der Karosserie, so entstanden Risse und würden diese zu groß werden, könnte die Stabilität der Karosserie negativ beeinträchtigt werden.

Als wir auch diese Hindernis durch langsames und sorgfältiges Sägen überwunden hatten und die störenden 5,2 cm herausgesägt waren, ging es nun wieder an das Zusammenlaminiere. Dafür haben wir zunächst die beiden Hälften provisorisch mit Klebeband zusammengeheftet. Danach war das Laminiere der zwei Hälften durch Kunstharz und Glasfasermatten kaum noch ein Problem.



Zusammenlamierte Karosserie

Da die Karosserie eigentlich nicht für unseren Rahmen konzipiert war, hatten wir zeitweise Bedenken, ob es überhaupt machbar wäre, diese zwei Teile miteinander zu verbinden, da der Lenker, die Pedale, sowie unser Schalensitz nur Zentimeter von der Karosseriewand entfernt waren. Doch unsere Sorgen waren unbegründet.

Beim Einsetzen des Rahmens in die Karosserie erwies es sich als besonders schwierig, die Löcher für Radaufhängung, Lenkschubstangen, Antriebswelle und vor allem der Flanschverbindung zu bohren. Diese Flanschverbindung gewährleistet mit einer weiteren Schraubverbindung, die sich am hinteren Teil des Rahmens befindet, die Verbindung zwischen Rahmen und Karosserie. Die Angst lag vor allem darin, dass kleinste Fehlbohrungen dazu geführt hätten, dass die beiden Antriebsräder an den Radkästen geschleift hätten. Um dem zu entgehen, mussten wir sogar den Boden der Karosserie mit viel Druck nach unten pressen, bevor wir die Flanschverbindungen befestigten.

Aufgrund der geringen Bodenfreiheit mussten wir zunächst Tests durchführen, um sicherzustellen, dass unser Mobil überhaupt noch in der Lage war, über Bremsschwellen zu fahren, ohne dass es aufsetzt. Glücklicherweise hat auch das hingehauen und von da an stand fest, dass es nur noch kleinere Probleme geben könnte, die uns höchstens etwas aufhalten würden, uns aber nicht an unserem Ziel hindern könnten.

#### 3.2. Der Motor und das Getriebe

Ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl eines Motors für ein Solarmobil ist der Wirkungsgrad. Folgende Möglichkeiten stehen prinzipiell zur Verfügung:

1. Gleichstrom- Reihenschlussmotoren
2. Permanenterrregte Gleichstrommotoren
3. Synchron- Drehstrommotoren
4. Asynchron- Drehstrommotoren

Zu 1.: Die im industriellen Bereich bewährten Gleichstromreihenmotoren sind für Solarmobile nicht geeignet, da sie einen relativ hohen Stromverbrauch haben: Der zum Aufbau des äußeren Magnetfelds benötigte Strom muss ebenfalls durch die Solarzellen bzw. durch die Batterien bereitgestellt werden.

Zu 2.: Durch die Permanenterregung erreicht man normalerweise einen recht hohen Wirkungsgrad, außerdem ist der Motor bei kleinen Ausführungen sowohl bezüglich des Preises als auch des Gewichtes sehr günstig. Allerdings müssen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, da der Motor bei Überlastung und zu hohen Temperaturen entmagnetisiert werden könnte.

Zu 3. und 4.: Die Vorteile dieser Motoren liegen in der Robustheit, dem geringen Gewicht, der großen Überlastbarkeit und dem guten Wirkungsgrad. Allerdings ist bei dieser Art von Motor ein Pulsumrichter, der relativ teuer ist und zusätzlich Gewicht verursacht, notwendig. Aus den zuletzt genannten Gründen kamen diese Motorvarianten für uns von Anfang an nicht in Frage.

Die oben genannten Ausführungen bewogen uns, einen permanenterregten Gleichstrommotor zu wählen.



Aus dieser Gruppe entschieden wir uns für einen 48 V Gleichstrommotor mit zugehöriger Steuerung. Die Leistung beträgt 2 PS und dies reicht aus, um eine Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h zu erreichen (Drehzahlbegrenzung).

Der Vorteil des von uns verwendeten Motors liegt darin, dass der Motor und das Getriebe schon im Rad integriert sind (Radnabenmotor) und dadurch Platz gespart werden kann. Allerdings passte dieser Motor nicht an die Hinterradaufhängung des Fahrgestells. Aus diesem Grund benutzten wir die Hinterradschwinge eines Rollers und passten diese anstelle der ursprünglichen an den Rahmen an. Außerdem wurde eine Federung mittels Gummidämpfern miteingebaut.

### 3.3. Die Energieversorgung und die Bremsen

Unser schon erwähnter Radnabenmotor bezieht seine Energie aus vier, in Reihe geschalteten Blei- Gel-Batterien, die jeweils 12 Volt und 24 Ah Kapazität aufweisen. Um den Stromkreislauf überwachen zu können und um auch die noch vorhandene Energie genau im Blickfeld zu haben, wurden sowohl ein Amperemeter als auch ein Voltmeter angebracht. Das Amperemeter dient zum Messen des Stromflusses und ist über einen mit 0,001 Ohm ausgelegten Shunt angeschlossen. Dieser Stromkreislauf endet an der Motorsteuerung und versorgt den Motor mit der nötigen Energie. Bei dem Thema „Energieversorgung“ mussten wir uns natürlich auch der Frage nach den richtigen Batterien widmen. Da wir aber neben verschiedenen Kriterien, wie zum Beispiel Energiedichte, Temperaturverhalten oder Wirkungsgrad, vor allem die Kosten im Blick haben mussten, war die Wahl schnell getroffen. Wir entschieden uns für Blei- Gel- Batterien, obwohl Blei- Säure Batterien noch günstiger waren, doch das Risiko, dass Säure ausläuft, da wir unsere Batterien im Liegen einbauen mussten, war uns einfach zu groß. Wäre unser finanzieller Spielraum nicht so begrenzt gewesen, dann hätten wir uns für die Nickel- Metallhydrid-

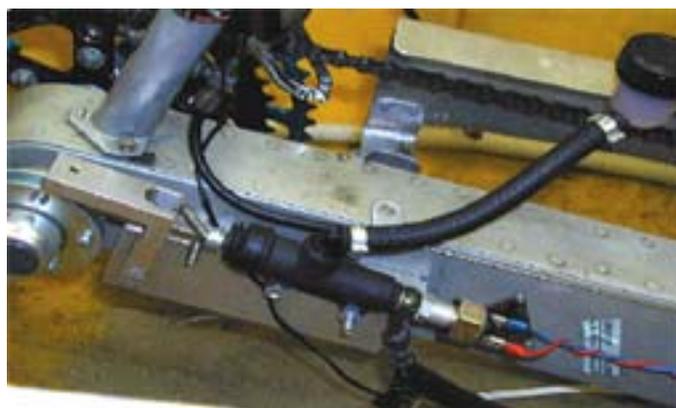
Batterien entschieden, da diese bezüglich der Energiedichte bzw. des Gewichtes besser geeignet wären.

Natürlich gehören zu einem sicheren Fahrzeug auch gute Bremsen. Da wir neben der schon eingebauten Vorderradbremse noch eine zweite benötigten (Zweikreisbremssystem), machten wir uns über den Einbau einer zweiten Bremsanlage Gedanken. An unserem Radnabenmotor ist eine Scheibenbremse schon vormontiert gewesen. Zunächst dachten wir an einen Einbau einer Scheibenbremse eines Fahrrads, um Gewicht zu sparen. Wir hatten von der Firma Magura sämtliche Modelle zur Auswahl, die aber leider nicht brauchbar waren, weil sie den hohen Belastungen nicht standgehalten hätten. Wir mussten uns also mit dem Einbau eines Bremszylinders beschäftigen, was uns sehr viel Zeit und Nerven gekostet hat. Zunächst besorgten wir uns einen Bremszylinder mit einem Anschluss für einen Bremslichtgeber sowie einen Bremslichtschalter. Da unsere Bremse auf einem einfachen Rücktrittprinzip beruht, mussten wir uns Gedanken machen, wie wir den Zylinder auf die Höhe der Tretkurbel bekommen. Mit einem etwa 1,3 cm breiten Aluminiumstück zwischen Rahmen und Bremszylinder konnte dieses Ziel erreicht werden.

Das nächste Problem, das hinsichtlich der Bremsen auftrat, war die Bremsleitung. Da die ursprüngliche Bremsleitung für unser Projekt zu lang war, mussten wir jene verkürzen, doch dies war mit viel Mühe verbunden, da das neue Ende der Bremsleitung umgebördelt werden musste, damit es am Bremsattel auch dicht ist. Des Weiteren wurde der Vorratsbehälter für die Bremsflüssigkeit auf dem Kettenschutz montiert werden, da dieser oberhalb des Zylinders montiert werden musste. Die ganze Arbeit an der Bremse, von der Entwicklung auf dem Papier bis hin zum Einbau und der Fertigstellung, kostete uns ca. vier Wochen.

### 3.4. Windschutzscheibe und Haube

Für die Windschutzscheibe benutzten wir als Material Polycarbonat, da dieses aufgrund seiner Biegsamkeit sehr gut zu bearbeiten ist. Der Rand der Scheibe ist einerseits an der Karosserie befestigt, andererseits nach hinten an einem halbkreisförmigen Profil. Die Haube, die die Einstiegs Luke abdeckt und somit als Regenschutz dient, ist ebenfalls aus Polycarbonat gefertigt, ferner ist sie mit einem Scharnier an dem halbkreisförmigen Profil befestigt, das die Windschutzscheibe trägt. Während im vorderen Bereich ein halbkreisförmiges Profil als formendes Gerüst dient und die Seiten von bearbeiteten Profilen aus Aluminium gestützt werden, wurde für den hinteren Teil ein Profil aus GFK verwendet.



#### 4. Auswertung

Bei ersten Probefahrten stellten wir fest, dass die Lenkung ab einer Geschwindigkeit von 40 km/h anfang, leicht zu flattern. Deswegen bauten wir einen Lenkungsdämpfer ein, so dass man jetzt ohne Schwingungen Geschwindigkeiten bis zu 60 km/h erreicht.

Die eingebaute Scheibenbremse bereitet uns zur Zeit noch Kopfzerbrechen, da das Hinterrad besonders bei Nässe zu früh blockiert. Wir sind aber sicher, dass wir auch dieses Problem noch in den Griff kriegen werden.

Um den Verbrauch zu messen und ihn mit den von uns berechneten Werten vergleichen zu können, suchten wir uns eine ebene Strecke und maßen die in den Motor eingespeiste Leistung über Ampere- und Voltmeter. Es ergab sich eine

Leistung von ca. 403 Watt bei einer Geschwindigkeit von 45 km/h. Das bedeutet einen Energieverbrauch von 896 Wattstunden auf 100 km oder umgerechnet 0,0896 Liter Benzin auf 100 km, d.h. der reale Verbrauch läge ca. 6,5 % niedriger als unser geplanter (siehe Abschnitt 2).

Weitere Testfahrten müssen jetzt zeigen, wie hoch der Verbrauch unter realistischeren Bedingungen, also mit Beschleunigungs- und Bremsphasen- wie im Stadtverkehr- ist.

Durch Mitretten über den Tretantrieb ist ausserdem eine weitere Energieeinsparung möglich.

#### 5. Ausblick

Da wir unser Projekt auch in Zukunft noch verbessern wollen, haben wir uns Gedanken gemacht, wie wir den Verbrauch noch weiter senken können. So spielen wir mit dem Gedanken, an den Lufterlässen, die dem Fahrer als Luftzufuhr dienen, einen Rotor anzubringen, welcher die Energie des Fahrtwindes in die Batterie zuückspeist. In ersten Tests, bei denen wir einen Rotor nahmen, der eigentlich einem herkömmlichen Computer als Lüfter dient, konnten wir eine Spannung von 40 Volt messen. Weitere Messungen müssen nun klären, ob sich die Energie sinnvoll in die Batterien zuückspeisen lässt.

Des Weiteren klären wir in einem anderen Projekt, ob die Energie beim Bremsen nutzbringend in die Batterie eingespeist werden kann, indem der Antriebsmotor des Mobils als Generator dienen soll (sogenannte Rekuperation).

Damit das Solar-/Elektromobil zu einem richtigen Solarmobil wird, sind wir momentan am überlegen, wie wir eine Photovoltaik-Anlage bauen, die als Energielieferant dienen soll.

**X Testen** Sie jetzt die Solarthemen, den aktuellen Dienst zu allen erneuerbaren Energien mit Nachrichten aus Politik, Wirtschaft und Technik.

**X Anfordern** können Sie Ihr Probeheft für drei Mark in Briefmarken bei: Solarthemen, Bültestr. 85, 32545 Bad Oeynhausen, Tel. (05731)83460, Fax (05731)83469.

**Solar** themen **Nackte Fakten** für solare Profis.

**Gesund leben und einkaufen**  
**von Abfallberatung bis Zimmereien**

Infos, Produkte, Tipps und Dienstleistungen rund um Umwelt und Gesundheit. Frisch im Buch- und Zeitschriftenhandel sowie in Ihrem Naturkostladen:

Schleswig-Holstein/Hamburg ISBN 3-932309-16-2  
Niedersachsen/Bremen ISBN 3-932309-02-2  
Nordrhein-Westfalen ISBN 3-932309-08-1  
Saar-Lor-Lux ISBN 3-932309-10-3  
Hessen ISBN 3-932309-07-3  
Berlin ISBN 3-932309-04-9

Suchen und Finden im Internet:  
[www.das-gruene-branchenbuch.de](http://www.das-gruene-branchenbuch.de)

Verlag DAS grüne BRANCHENBUCH  
Tel. 04532-21402 · Fax 04532-22077  
[www.gruenes-branchenbuch.de](http://www.gruenes-branchenbuch.de)  
[gruenes.branchenbuch@t-online.de](mailto:gruenes.branchenbuch@t-online.de)



## Reduziert der Anbau von Ölpflanzen für den Fahrzeugantrieb den Anbau von Nahrungsmitteln?

von Prof. Dr. E. Schimpff, FH Weihenstephan, 85350 Freising, e-mail: [schimpff@fh-weihenstephan.de](mailto:schimpff@fh-weihenstephan.de)

Auf eine häufig geäußerte Ansicht, die vielfach zu einer ablehnenden Haltung gegenüber dem Ölpflanzenanbau führt, soll im folgenden eingegangen werden. Sie lautet:

"Der Ölfuchtanbau verdrängt den Nahrungsmittelanbau und kann deshalb auch in Zukunft nicht signifikante Ackerflächen in Anspruch nehmen, um als wesentlicher Kraftstoff-Lieferant zu dienen".

Diese Ansicht erscheint plausibel, wenn man davon ausgeht, daß der zukünftige Landbau weiterhin auf dem Prinzip von

Monokulturen beruhen wird. Denn ein Feld, das nur mit Raps zu einem Zeitpunkt bebaut wird, steht selbverständlich im gleichen Zeitraum für Getreideanbau nicht zur Verfügung. Allerdings ist diese Sichtweise verkürzt und berücksichtigt nicht zwei Aspekte des Raps- bzw. Ölpflanzenanbaus, die der Nahrungsmittel-Erzeugung letztlich zugute kommen:

1. Raps bzw. andere Ölf Früchte sind (oder können) vorzügliche Vorfrüchte für den Getreideanbau unmittelbar danach sein: Die in aller Regel tiefreichende und im Boden verbleibende