

# Seiltrassenplanung mit Drohnen

Planungssicherheit und Informationsgewinn durch Daten aus der Luft und dem Weltall

**Im Rahmen einer großen Waldentwicklungsmaßnahme im Nationalpark Hunsrück-Hochwald in Rheinland-Pfalz (Seite 18 in dieser Ausgabe) konnten Entscheidungsträger und Forstunternehmer zeigen, wie unter schwierigen Standortbedingungen und unter Berücksichtigung sensibler Ökosysteme der Einsatz von Fernerkundungsdaten zusammen mit der richtigen Technik und Logistik zielführende Lösungen bieten.**

## Fernerkundung

Fernerkundung ist ein Sammelbegriff für Verfahren, die reflektierte oder emittierte elektromagnetische Wellen auswerten, um Informationen über die aufgenommene Oberfläche und Objekte zu gewinnen. In Kombination mit leistungsstarken computergestützten Auswerteargorithmen sind Auswertungen und Analysen möglich, die in allen Bereichen weit über das hinausgehen, was mit klassischer visueller Luftbildauswertung bisher möglich war. Typische Fernerkundungssysteme/-daten sind beispielsweise:

## Luftbilder

Luftbilder sind eine der typischsten Fernerkundungsdaten. Sie stellen die Erdoberfläche mit den auf ihr befindlichen Objekten entzerrt und geographisch korrekt dar. Die heutzutage gängigen geometrischen Auflösungen im Submeterbereich lassen selbst kleinere Objekte, wie Autos, Photovoltaik-Flächen auf Hausdächern oder Gullydeckel detailliert erkennen. In ihrer typischen Abbildung entsprechen die Aufnahmen einer sogenannten Echtfarbdarstellung, das heißt, das Landschaftsbild ist so abgebildet, wie es auch mit dem menschlichen Auge wahrgenommen wird. Die Grundfarben sind Rot, Grün und Blau und jedes Bildelement ist eine Mischung dieser Farben. Entsprechend erscheint ein vitaler Laubwald aus der Luft betrachtet grün, da die elektromagnetische Strahlung im „grünen“ Wellenlängenbereich am stärksten reflektiert wird. Hier entsteht die Verknüpfung mit den elektromagnetischen Wellen, denn jedem Wellenlängenbereich kann im sichtbaren Bereich eine Farbe zu-



Luftbildaufnahme des Flachlandseilkran am Casparsbruch im Nationalpark Hunsrück-Hochwald. Die Aufnahme wurde von einem UAS aufgenommen und zeigt die 400 Meter lange Seiltrasse, ausgehend vom 17 Meter hohen Seilkran, der mit vier Abspannseilen stabilisiert wird. Der Seilkran dient in diesem Fall zur Bringung von Fichten unter 25 Jahren, welche in Bündeln schwebend zum Ablageplatz transportiert und dort verladen werden. Auf diese Weise wird eine bodenschonende Bringung der Fichten gewährleistet. Die Detailansicht zeigt den ebenfalls 17 Meter hohen Mast, der aufgrund fehlender Stützbäume eingesetzt wird.

Foto: marco susenburger GmbH.

geordnet werden. Aber auch über den sichtbaren Bereich hinaus bestehen vielfältige Verfahren, um Informationen zu gewinnen, welche mit dem menschlichen Auge oder Sensoren, die wie unsere Augen auf reflektierte Energie angewiesen sind, nicht zu erkennen sind.

## Multispektralsysteme

Ein weiterer wichtiger Wellenlängenbereich für forstliche Anwendungen ist der Bereich des nahen Infrarots. Veränderungen der Vitalität von Beständen spiegeln sich deutlich im Reflexionsverhalten wider und können mit sogenannten Multispektral-Kameras aufgezeichnet und sichtbar gemacht werden. Derartige Sensoren werden insbesondere in Verbindung mit Satellitensystemen verwendet. Diese Satelliten befinden sich in einem Orbit zirka 700 Kilometer über der Erdoberfläche und ihre Sensoren nehmen in regelmäßigen Abständen Bilder auf. Die hohe Flä-

chendeckung einer Aufnahme, die Aufnahmefrequenz und die erdumfassende Aufnahmeabdeckung sind die wesentlichen Vorteile dieser Verfahren. Viele Bundesländer beschäftigen sich bereits mit der Nutzung von Fernerkundungsdaten aus Satellitenbilddaten in der Waldinventur und Forstplanung. Beispielsweise hat das vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) geförderte Projekt Sentinel-4-GRIPS zum Ziel, eine kontinuierliche Bereitstellung und Aufbereitung der für forstliche Belange hochinteressanten Sentinel-2 Sensordaten sowie eine Ableitung von digitalen Forstinformationsebenen für die Forsteinrichtung in Rheinland-Pfalz zu verwirklichen. Im Rahmen dieses Projekts findet eine Zusammenarbeit zwischen dem Fach Umweltfernerkundung und Geoinformatik der Universität Trier, den Landesforsten Rheinland-Pfalz, dem

Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz und der CPA Software GmbH statt.

## Unmanned Aircraft Systems (UAS)

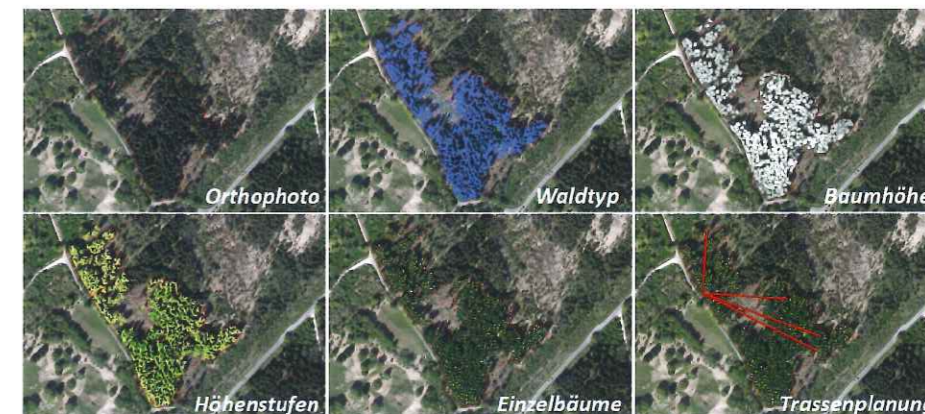
Gerade in nördlichen Breiten ist es häufig der Fall, daß unpassende Bedingungen (Wolken) die Qualität vieler Aufnahmen mindern. Dies ist auch bei der klassischen Luftbildfotografie zu Vermessungszwecken der Fall. Eine Lösung bieten hier die UAS, besser bekannt unter dem Namen Drohnen, an. Sie fliegen in einer Höhe bis zu 100 Metern und sind bereits mit technisch ausgereiften Sensoren bestückbar. Geeignete Systeme starten auch bei Regen oder Schnee und sind somit optimal geeignet, um sich rasch einen Überblick zu verschaffen, beispielsweise im Falle eines Sturmschadens.

## LiDAR (Light Detection and Ranging)

Die bisher aufgeführten Verfahren nutzen das natürliche Reflexionsverhalten von Objekten, die von einer Strahlungsquelle, in der Regel der Sonne, angestrahlt werden und einen Teil der eingehenden Strahlung reflektieren, absorbieren oder durchlassen. Aktive fernerkundliche Verfahren senden aktiv eine Energie bestimmter Wellenlänge aus und zeichnen anschließend das reflektierte Signal auf und messen zusätzlich die verstrichene Zeit zwischen Aussenden und Empfangen. Auf diese Weise kann bei exakter Positionsbestimmung aus der Luft die Oberflächenhöhe gemessen werden. Dazu werden in der Regel Laserscanner benutzt. Ein Laserstrahl ist eine elektromagnetische Welle mit besonderen Eigenschaften, die sich optimal für diese Art der Distanzmessung eignet. Pro Quadratmeter können sehr hohe Punktdichten (bis zu 20 im operativen Einsatz) erreicht werden und so auch ein detailliertes Abbild des Waldbodens und des Aufwuchses erstellt werden. Darüber hinaus werden neben den klassischen aggregierten 2D-Darstellungen als Karte oder digitale Ebene auch 3D-Punktwolken erstellt, die ganz neue Auswertungsverfahren ermöglichen. Dazu zählen beispielsweise die Ableitung der Geometrie von Einzelbäumen, die Ausrichtung der Stämme, Schätzung des BHD oder eine Bestimmung der Kronenfläche.

## Datenverarbeitung

Ein nicht zu vernachlässigender Teil der Fernerkundung ist die Verarbeitung der Daten, um quantitative Größen ableiten zu können. Dazu zählen beispielsweise die exakte Verortung von Aufnahmen, die Bereinigung von Störeffekten (atmosphärische Einflüsse) und die Fusion von verschiedenen Datenquellen. In weiteren Schritten, die auch erst durch eine Steigerung der Leistungsfähigkeit von Computern ermöglicht wurde, können dann Produkte für den Endan-



Für die Seiltrassenplanung verwendete Fernerkundungsdaten. Die obere linke Abbildung zeigt das entzerrte Luftbild als Ausgangsprodukt. Aus diesem wird mit Hilfe einer entwickelten Methode die Baumart automatisch abgeleitet. Blaue Flächen zeigen Fichten an, grüne Buchen und andere Laubbäume. Diese Informationsebene wird in einem weiteren Verarbeitungsschritt mit den extrahierten Baumhöhen auf einem Laserscanning-Datensatz verschritten und Höhenstufen abgeleitet, um die mächtigsten Fichten im Bestand zu identifizieren. Als letzten Schritt werden die Schwerpunkte der Kronen bestimmt, um anschließend die Seiltrassenplanung auf Basis der Fernerkundungsdaten durchzuführen.

wender abgeleitet werden. Dazu zählen neben den klassischen aufgearbeiteten Luft- oder Satellitenbilddaten auch die abgeleiteten Höhen aus Laserscandaten oder die Kartierung von Waldflächen. Jedes Bildelement einer derartigen Informationsebene stellt in der Regel eine quantitative Größe (zum Beispiel Objekthöhe) oder eine Kartierung dar (zum Beispiel Nadel- und Laubwaldtrennung). Die Möglichkeiten der Fernerkundung werden schon lange Zeit in der Forstwirtschaft genutzt, beispielsweise in der klassi-

schen Luftbildinterpretation, entwickeln sich aber fortlaufend weiter und werden seit etwa 15 Jahren auch in Verbindung mit dem Begriff „Precision Forestry“ gebracht.

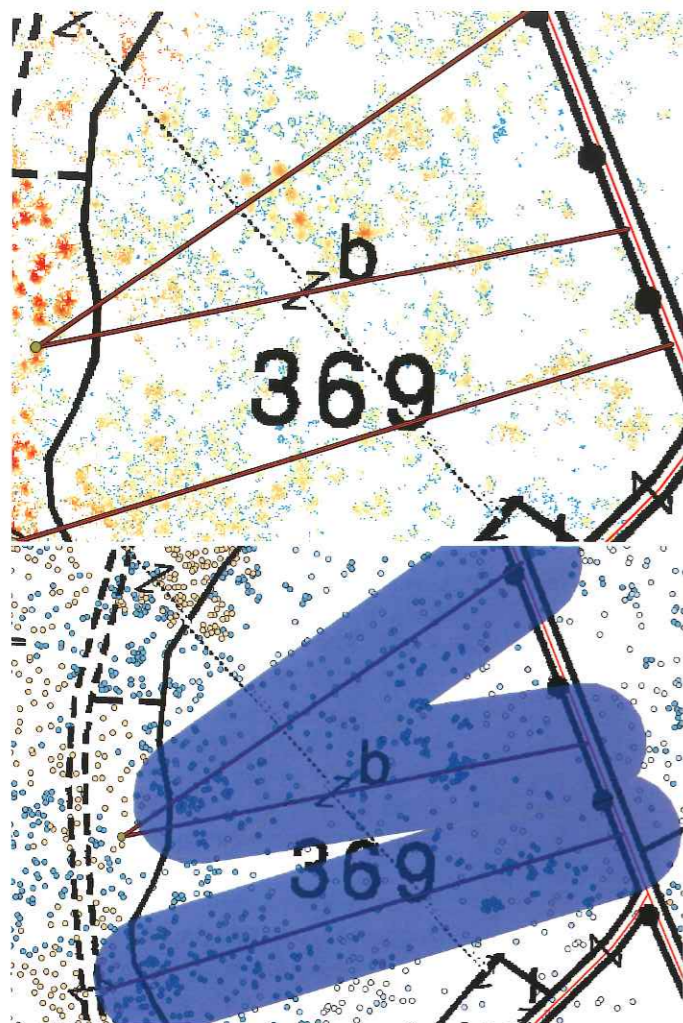
## Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung im Forst – „Precision Forestry“

Luft- und insbesondere Satellitenbilddaten bieten die Möglichkeit, flächendeckend für weitreichende Gebiete und mit geringem zeitlichen und personellen Aufwand Wälder zu kartieren

Rechts: Luftbildaufnahme (oben) und Schummerungskarte (unten) eines Teils des Riedbruchs im Nationalpark Hunsrück-Hochwald. Die Schummerungskarte ist abgeleitet vom digitalen Höhenmodell, wobei alle Aufbauten und natürlichen Objekte, wie Bäume, herausgefiltert sind. Mit Hilfe einer Schummerungskarte werden Strukturen wie Wasserläufe, Gräben, Geländevertiefungen und Fahrwege sichtbar, die im Luftbild verborgen bleiben.



Luftbild und Höhenmodell zur Verfügung gestellt vom Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz.



**Detailsicht der Seiltrasenplanung für den Riedbruch im Nationalpark Hunsrück-Hochwald.** Die obere Abbildung zeigt farblich codierte Höhenstufen von Fichtenkronen. Eine kräftige Rotfärbung zeigt die höchsten Fichten an. In der unteren Abbildung sind die Schwerpunkte der Einzelbäume als Punkte dargestellt. Der blaue Bereich visualisiert eine 30 Meter Pufferzone zur Abschätzung des Erschließungsgrades der geplanten Seiltrasse. In beiden Abbildungen ist die Seiltrasse als dunkelrote Linie gekennzeichnet.

**Darstellung: Kompetenzzentrum Waldtechnik Landesforsten Rheinland-Pfalz.**

**Fallstudie: Bodenschonende Waldentwicklungsmaßnahmen im Nationalpark**

Im Rahmen einer großen Waldentwicklungsmaßnahme im Nationalpark Hunsrück-Hochwald in Rheinland-Pfalz konnten Entscheidungsträger und Forstunternehmer zeigen, wie unter schwierigen Standortbedingungen und unter Berücksichtigung sensibler Ökosysteme der Einsatz von Fernerkundungsdaten zusammen mit der richtigen Technik und Logistik zielführende Lösungen bieten. Im konkreten Fall ist es Vorgabe, im Rahmen einer umfassenden Moorrenaturierung über 10.000 Festmeter Fichten auf staunassen Standorten in den niederschlagsreichsten Monaten des Jahres zu entnehmen und dabei Bodenschäden zu vermeiden. Für diese Herausforderungen haben alle Beteiligten bereits über ein Jahr vor Beginn der Maßnahmen begonnen, sich zu treffen und auszutauschen, um größtmögliche Planungssicherheit zu erreichen. In der Planungsphase stellte sich heraus, daß sich die Seilkran-Technik am besten für die Maßnahme eignen könnte. Mit dem Einsatz von Seilkranen ist ein erhöhter Planungsaufwand verbunden, insbesondere bei geplanten Seiltrasen von etwa 400 Meter Länge. Für eine Seiltrasse werden End-, Sattelbäume und geeignete Flächen zum Aufbau des Seilkranes benötigt. Für die Planung müssen also folgende Fragen beantwortet werden: Wo stehen Fichten? Wo stehen ausreichend stabile Fichten? Wo befinden sich sensible Grabenstrukturen und wo ist ausreichend Platz zum Aufbau des Seilkranes? Für die konkrete Planung am PC wurde von der durchführenden Dienststelle, dem Kompetenzzentrum für Waldtechnik Landesforsten (KWL) Rheinland-Pfalz, eine Vielzahl von Fernerkundungsdaten verwendet. In enger Zusammenarbeit mit dem Fach Umweltfernerkundung und Geoinformatik der Universität Trier wurden mehrere Fernerkundungsprodukte kombiniert, um geeignete Sattelbäume und optimale Seiltrasenverläufe zu identifizieren.

**Planung am Computer erspart Zeit im Gelände**

Als primäre Information für die optimierte Seiltrasenplanung wurde das wohl typischste Fernerkundungsprodukt in der Forstwirtschaft, das digitale Orthophoto verwendet. Ein Orthophoto zeigt eine entzerrte und maßstabgetreue Abbildung der erfaßten Erdoberfläche. Diese Orthophotos wurden von der Abteilung Umweltfernerkundung und Geoinformatik der Universität Trier über einen Bildverarbeitungs-Algorithmus derart ausgewertet, daß möglichst alle in der Aufnahme sichtbaren Laub- und Nadelbäume unterschiedlich markiert werden. Diese „Maske“ kann anschließend auf die Nadelbäume begrenzt und mit der Höheninformation eines normalisierten Digitalen Oberflächen Modells

(DOM) kombiniert werden, um jedem Nadelbaum seine entsprechende Wuchshöhe zum Zeitpunkt der Befliegung zuzuordnen. DOM sind Oberflächenmodelle der Erdoberfläche. Diese Modelle liefern eine flächendeckende Höheninformation der sich auf dem Gelände befindlichen Objekte (zum Beispiel Häuser oder Wald). Im Gegensatz dazu zeigt ein Digitales Höhenmodell (DHM) die Höhe des natürlichen Geländes ohne Aufbauten an. In der Regel werden beide Daten auf Basis von Laserscanbefliegungen mittels Helikopter in turnusmäßigen Abständen von Landesvermessungsämtern erhoben. Die Differenz zwischen DOM und DHM ist ein in der forstlichen Anwendung ein sogenanntes normalisiertes Kronenmodell, denn auf diese Weise läßt sich die Baumhöhe flächendeckend ableiten. Eine Verschneidung von Höheninformationen und Waldtypen ermöglicht nun eine Kategorisierung von Fichten anhand ihrer Wuchshöhe. In einem weiteren mathematischen Verfahren wurden die Schwerpunkte der Baumkronen bestimmt, welche in dieser Art konkret in der Trassenplanung genutzt werden können. Die Seiltrasen können dann einfach per Mausclick geplant und auch direkt wieder korrigiert werden, was im Gelände nur mit hohem Aufwand möglich wäre. Um den Erschließungsgrad für die motormanuelle Fällung direkt zu berücksichtigen, können auch Puf-

ferzen innerhalb der Software generiert werden. Im Abstand von 30 Meter von der Seiltrasse wird zu beiden Seiten eine Pufferzone als zusätzliche Informationsebene generiert. Im Gelände erfolgt schließlich eine Begehung der Fläche mit einem GPS-fähigen Tablet und den erzeugten digitalen Informationsebenen sowie den digitalen Verläufen der geplanten Seiltrasen. Die Berechnungen auf Basis von Fernerkundungsdaten konnten im vorliegenden Fall eine hohe Genauigkeit gewährleisten. Somit konnte im Anschluß einer kurzen Begehung unmittelbar mit dem Aufbau der Seiltrasen begonnen werden. Ein weiterer Vorteil, der durch den Einsatz von flächendeckenden aktuellen Fernerkundungsdaten entsteht: Bei einer guten Datengrundlage können die Analysen direkt auf andere Gebiete übertragen werden. Und selbst wenn keine ausreichende Daten vorhanden sind, lassen sich mit Hilfe von UAS kleinräumige Flächen schnell befliegen, Bildmosaik erstellen und auswerten, um sich eine bessere Ausgangslage in der Planung zu erzeugen. Der Einsatz von Fernerkundungsdaten hat sich während der gesamten Planungsphase und auch während der Durchführung der Maßnahme im Nationalpark Hunsrück-Hochwald als bedeutende Hilfe erwiesen und konnte zahlreiche Arbeitsstunden einsparen und Planungssicherheit schaffen.

**Versteckte Strukturen sichtbar machen**

Im Rahmen der Waldentwicklung im Nationalpark Hunsrück-Hochwald und auch landesweit in Verbindung mit der Kartierung von Feinerschließungsnetzen wurde vom KWL ein weiteres Fernerkundungsprodukt, die Schummerungskarte, eingesetzt. Eine Schummerungskarte (Hillshade) läßt sich über Computermodelle aus einem DHM ableiten. Auf diese Weise können im normalen Luftbild nicht sichtbare Strukturen im Waldboden erkannt werden. Für eine Schummerungskarte wird die Beleuchtung des Waldbodens im DHM mittels Computermodellen generiert und auf diese Weise deuten entstehende Schlagschatten, die aufgrund von minimalen Höhenunterschieden entstehen, beispielsweise auf Grabenstrukturen, Fahrspuren von Forstmaschinen oder historischen Objekten (zum Beispiel Kohlenmeilern oder Bodendenkmäler) hin. Je nach Qualität der Laserscandaten können die Schummerungskarten eine Bodenaufklärung bis in den Submeterbereich gewährleisten.

**Erik Haß**

Universität Trier  
Umweltfernerkundung & Geoinformatik

[www.feut.de](http://www.feut.de)

und Forstinventurdaten abzuleiten. Darüber hinaus können Schäden durch Windwurf, die Präsenz von Kalamitäten, der Holzzuwachs oder Vitalität von Beständen mit Hilfe von geeigneten Daten charakterisiert werden. Weiterentwicklungen von satellitengestützten Sensorsystemen, mit stetiger Verbesserung der räumlichen und spektralen Auflösung, sowie sinkende Kosten bei Datenbeschaffung und -aufbereitung und die Entwicklung innovativer Analyse- und Verarbeitungsstrategien führen zu einer fortlaufenden Perspektivenerweiterung der forstlichen Fernerkundung. In Zusammenschluß mit technischen und logistischen Innovationen innerhalb der Forstwirtschaft stellen fernerkundliche Verfahren einen Baustein des so genannten „Precision Forestry“, der Präzisionsforstwirtschaft, dar. Fernerkundliche Verfahren sollten stets als eine Ergänzung und zur Entscheidungsunterstützung im Forstmanagement verstanden werden. Die Daten und abgeleiteten Informationsebenen sind optimal nur in Verbindung mit dem forstlichen Sachverstand in der Planung einsetzbar und haben nicht das Ziel, bestehende Verfahrensabläufe zu ersetzen, sondern zielführend zu unterstützen. So führt der Einsatz von Fernerkundungsdaten oft dazu, daß im Vorfeld einer forstwirtschaftlichen Anwendung oder Waldent-

wicklungsmaßnahme die Planung bereits frühzeitig im Büro am Computer durchgeführt wird. Im Bestand selbst können dann mit Hilfe von Tablet-PC die erstellten Planungen verifiziert, möglicherweise abgeändert und anschließend praktisch umgesetzt werden. Aktuelle Tablet-PC verfügen über eine eingebaute GPS-Navigation und ausdauernde Akku-Leistungen, so daß die operative Nutzung auch über einen Arbeitstag gewährleistet werden kann.

Ein nächster Schritt in einer Arbeitskette könnte dann auch der Einsatz von UAS sein. Eine typische Anwendung ist bereits die einfache Erkundung aus der Luft (mittels Schrägbild- oder Nadiraufnahmen), wobei die Aufnahmen in der Regel „live“ auf einer Navigations- und Bedienungssoftware unmittelbar einsehbar sind. Auf diese Weise lassen sich schwer zugängliche Bestände aus der Luft bewerten und Zeit für langwierige Begehungen einsparen.

Die rasante Entwicklung im UAS-Sektor und vielfältigen Möglichkeiten in der forstlichen Anwendung lassen das Bild vom Förster oder Forstunternehmer, der neben seinem Hund auch stets eine Drohne dabei hat, gar nicht mehr so abwegig erscheinen.

**WWW.FORSTMASCHINENZENTRUM.de**

Ihr Kompetenz-Zentrum rund um die Holzernte-Technik

Wir bieten Ihnen Vorführmaschinen, junge Gebrauchte, Harvester, Forwarder und Skidder zu wirtschaftlichen Preisen.

Des Weiteren kaufen und vermarkten wir Ihre gebrauchten Maschinen.

*Log Max* *Profi-Forest*

**FORSTMASCHINENZENTRUM**

Zum Hutanger 3  
D-91227 Leinburg - Diepersdorf

Tel.: +49 (0) 9120 - 1809962  
Fax: +49 (0) 9120 - 1809963  
Mobil: +49 (0) 172 - 8914268

Mail: [info@forstmaschinenzentrum.de](mailto:info@forstmaschinenzentrum.de)

**CLEANFIX.ORG**  
Umschalt-Ventilatoren zur Kühlerreinigung

**mehr Leistung**  
spart 30% der Lüfter-Antriebsleistung  
(Uni Karlsruhe 2013)

weniger Lärm  
weniger Verbrauch

[www.youtube.com/cleanfixgf](http://www.youtube.com/cleanfixgf)