

Technische Beschreibung

Aerodynamische Anbauteile am Rotorblatt

**E-136 EP5, E-147 EP5, E-147 EP5 E2, E-160 EP5,
E-160 EP5 E2, E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1**

Herausgeber

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: <http://www.enercon.de>
Geschäftsführer: Dr. Jürgen Zeschky, Dr. Martin Prillmann, Dr. Michael Jaxy
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

Urheberrechtshinweis

Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

Geschützte Marken

Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

Änderungsvorbehalt

Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

Dokumentinformation

Dokument-ID	D02296427/1.0-de		
Vermerk	Originaldokument		
Datum	Sprache	DCC	Werk / Abteilung
2023-04-06	de	DB	WRD Wobben Research and Development GmbH / Documentation Department

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Hinterkantenkamm (TES)	5
3	Vortexgeneratoren	8
4	T-Spoiler	11

1 Einleitung

Dieses Dokument gilt für folgende Windenergieanlagentypen: E-136 EP5, E-147 EP5, E-147 EP5 E2, E-160 EP5, E-160 EP5 E2, E-160 EP5 E3 und E-160 EP5 E3 R1.

2 Hinterkantenkamm (TES)

Allgemeines

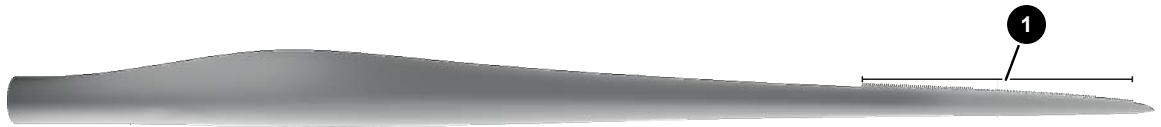


Abb. 1: Position der Hinterkantenkammsegmente am Rotorblatt

1	Hinterkantenkammsegmente
---	--------------------------



Abb. 2: Hinterkantenkammsegmente

Auf der Saug- und Druckseite des Rotorblatts herrschen unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten. Dadurch kommt es an der Hinterkante zu Turbulenzen und der Geräuschpegel im Betrieb der ENERCON Windenergieanlage steigt an.

Um diesen Geräuschpegel zu senken, wird ein Zackenprofil an der Hinterkante montiert. Dieses Profil wird als Hinterkantenkamm (engl. Trailing Edge Serration, kurz TES) bezeichnet.

Der Hinterkantenkamm (TES) ist serienmäßig auf der Hinterkante der Rotorblätter installiert.

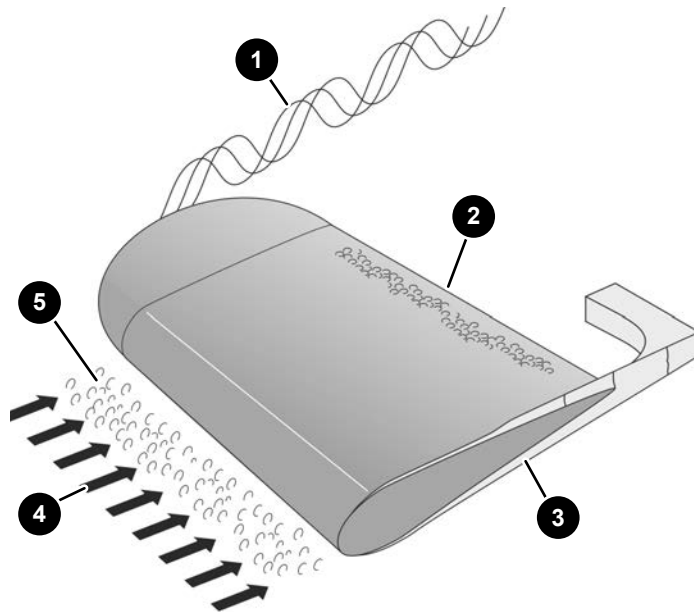


Abb. 3: Strömung am Rotorblatt

1	Blattspitzenverwirbelung	2	Turbulenzballen an der Hinterkante
3	Grenzschicht	4	Anströmung
5	Turbulenzballen in der Anströmung		

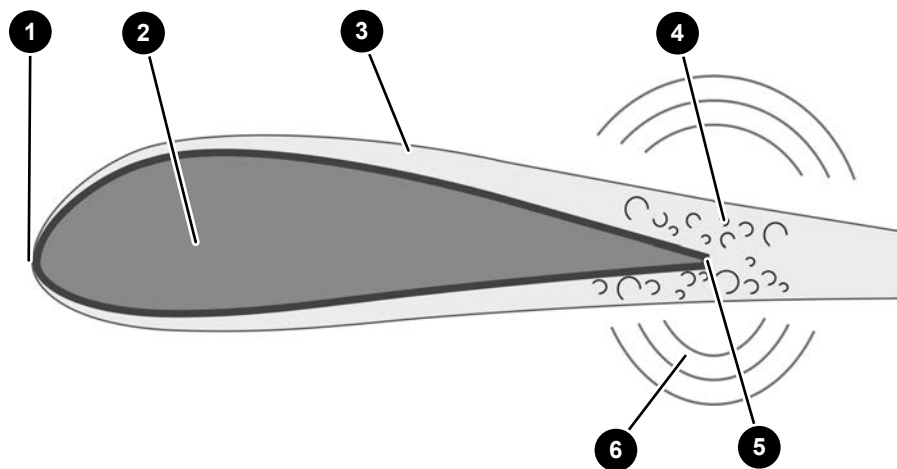


Abb. 4: Entstehung des Hinterkantengeräuschs

1	Vorderkante	2	Querschnitt des Rotorblatts
3	Grenzschicht	4	Turbulenzballen
5	Hinterkante	6	Emission der Hinterkante

Entstehung von Strömungslärm

Die wichtigste Ursache für den Strömungslärm ist die sich an der Oberfläche der Rotorblätter ausbildende turbulente Grenzschicht, in der sich Turbulenzballen bilden. Treffen die Turbulenzballen auf die Hinterkante, produzieren sie entsprechend ihrer Größe Druckschwankungen, die als breitbandige aerodynamische Geräusche abstrahlen.

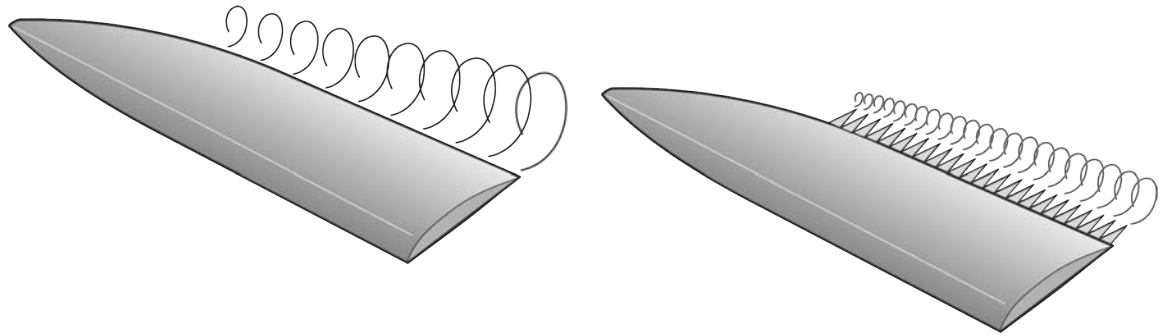


Abb. 5: Turbulenzen ohne Hinterkantenkamm (links) und mit Hinterkantenkamm (rechts)

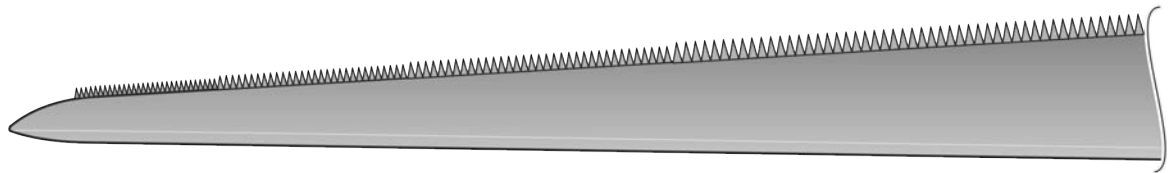


Abb. 6: Hinterkantenkamm (TES)

Funktion

Eine gezackte Verlängerung der Hinterkante reduziert die akustische Emission, indem die Turbulenzballen an den Flanken der Zacken in kleinere Turbulenzballen aufgebrochen werden. Die Stärke der Druckschwankungen wird reduziert, was zu einer verminderten akustischen Abstrahlung führt. Da die Intensität der Schallabstrahlung erheblich von der lokalen Strömungsgeschwindigkeit abhängig ist, werden Hinterkantenkämme nur im äußeren Rotorblattbereich angebracht, wo die Rotationsgeschwindigkeit am größten ist.

Da sich die Strömungsbedingungen entlang des Rotorblatts verändern, muss auch die Zackengröße in Abstand und Länge funktional an die lokalen Strömungsbedingungen angepasst werden. Die Verteilung der Zackengröße entlang der Rotorblätter führt zu einer optimalen Schallreduktion.

3 Vortexgeneratoren

Allgemeines



Abb. 7: Position der Vortexgeneratoren an der Saugseite

1	Position der Vortexgeneratoren an der Saugseite
---	---

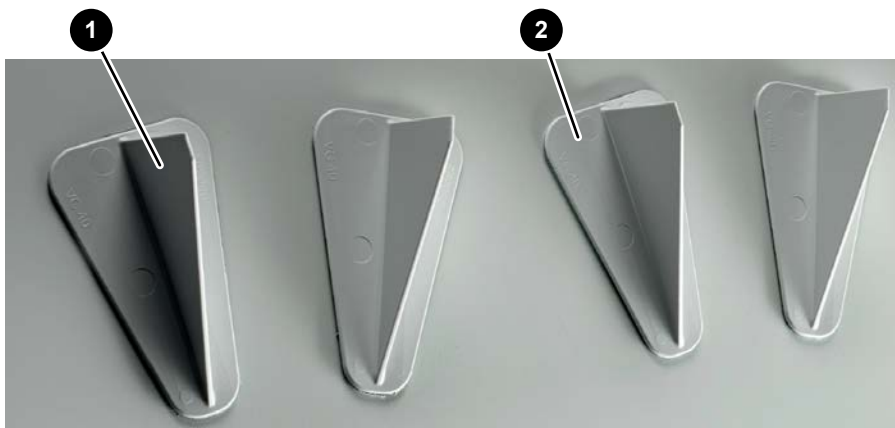


Abb. 8: Vortexgeneratoren

1	Kunststoffsteg
---	----------------

2	Grundplatte
---	-------------

Vortexgeneratoren bestehen aus einer Grundplatte und einem Kunststoffsteg. Die Vortexgeneratoren sind auf der saugseitigen Oberfläche des Rotorblatts in einem fest definierten Winkel zur Anströmrichtung montiert.

Vortexgeneratoren sind serienmäßig auf dem Rotorblatt installiert.

Funktion

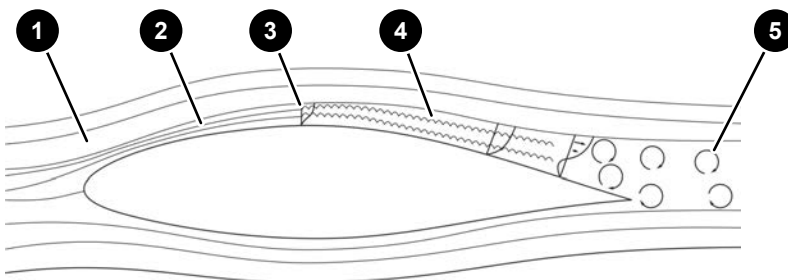


Abb. 9: Grenzschichtströmung um ein aerodynamisches Profil

1	Außenströmung v_∞
---	--------------------------

2	Grenzschichtströmung
---	----------------------

3	Umschlagpunkt
---	---------------

4	turbulente Strömung
---	---------------------

5	Strömungsablösung
---	-------------------

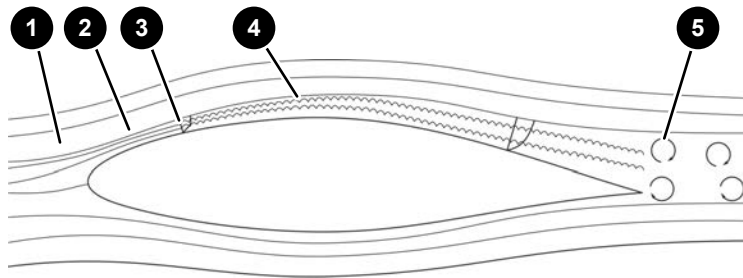


Abb. 10: Grenzschichtströmung um ein aerodynamisches Profil mit Vortexgenerator

1	Außenströmung v_∞	2	Grenzschichtströmung
3	Umschlagpunkt, Position des Vortexgenerators	4	turbulente Strömung
5	Strömungsablösung		

Vortexgeneratoren werden an den Querschnittsbereichen des Rotorblatts angewendet, bei denen das Profil ablässt oder zur Ablösung neigt. Die Wirkung eines Vortexgenerators besteht darin, dass der durch Reibung abgebremsten, energiearmen oberflächennahen Strömung (auch Grenzschicht genannt) durch die erzeugten Wirbel energiereiche Strömung von außerhalb der Grenzschicht zugeführt wird. Die oberflächennahe Strömung wird mit „frischer“, schnellerer Strömung durchmischt und so künstlich beschleunigt. Dadurch ist die Strömung in der Lage, einen größeren Druckanstieg zu überwinden und kann die Profilkontur auch in den Fällen umströmen, in denen sich die Strömung am Profil ohne Vortexgeneratoren ablösen würde, siehe in Abb. 9, S. 8 und Abb. 10, S. 9.

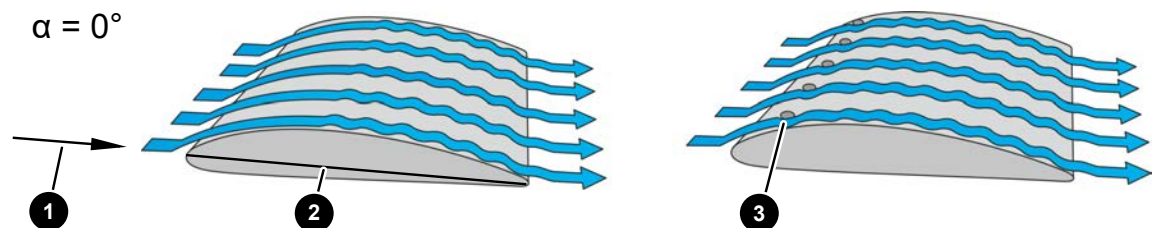


Abb. 11: Anströmung bei einem Profilanstellwinkel α von 0° ohne und mit Vortexgeneratoren

1	Anströmrichtung	2	Profilsehne
3	Vortexgenerator		

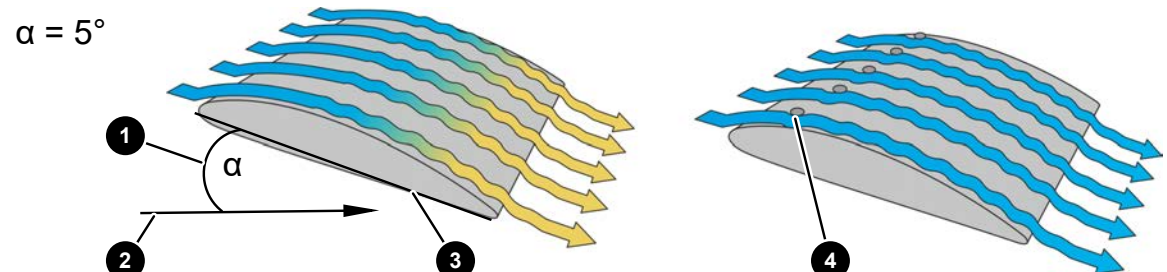


Abb. 12: Anströmung bei einem Profilanstellwinkel α von 5° ohne und mit Vortexgeneratoren

1	Profilanstellwinkel	2	Anströmung
3	Profilsehne	4	Vortexgenerator

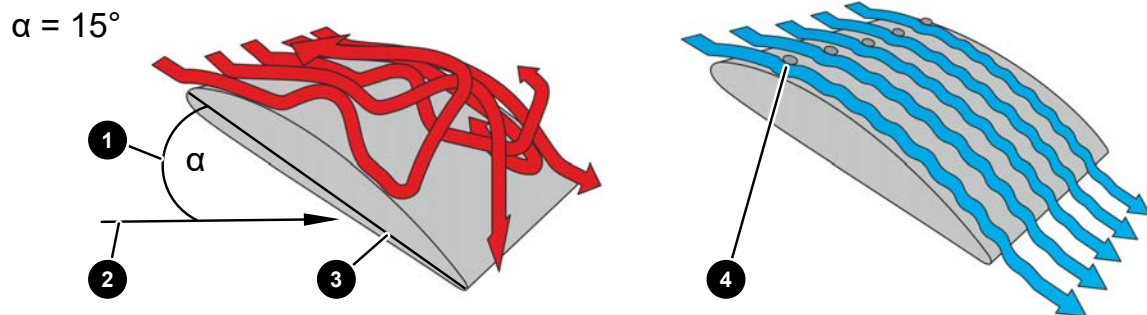


Abb. 13: Anströmung bei einem Profilanstellwinkel α von 15° ohne und mit Vortexgeneratoren

1	Profilanstellwinkel	2	Anströmrichtung
3	Profilsehne	4	Vortexgenerator

Vortexgeneratoren werden eingesetzt, um die Strömung im Bereich der Hinterkante länger festzuhalten.

Mit Vortexgeneratoren lässt sich, insbesondere bei dicken Profilen, die im Blattinnenbereich zu finden sind, der Strömungsabriss zu höheren Profilanstellwinkeln verschieben. In einigen Fällen wird durch eine Erhöhung der maximalen Auftriebsbeiwerte auch eine Leistungssteigerung erreicht.

4 T-Spoiler

Allgemeines



Abb. 14: Position der T-Spoiler auf der Druckseite des Rotorblatts

1	T-Spoiler
---	-----------



Abb. 15: T-Spoiler am Rotorblatt

T-Spoiler vergrößern den Auftrieb eines aerodynamischen Profils.

T-Spoiler, die auf der Druckseite in der Nähe der Hinterkante eines Rotorblatts installiert sind, verändern die lokale Luftströmung so, dass die Stromlinien an der Hinterkante stärker abgelenkt werden, was zu einer Erhöhung des Auftriebs führt. Der Einsatz von T-Spoilern in Nähe des Blattflanschs führt zu einer erheblichen Verbesserung der Energieausbeute der ENERCON Windenergieanlagen.

T-Spoiler sind serienmäßig auf den Rotorblättern installiert.

Aus strukturellen Gründen kommen im flanschnahen Bereich meist aerodynamisch ungünstige Profile zum Einsatz. Sie erzeugen wenig Auftrieb und neigen zum vorzeitigen Strömungsabriss. Die in der Nähe des Blattflansches montierten T-Spoiler lenken die Strömung vom Profil weg und erzeugen dadurch zusätzlichen Auftrieb im flanschnahen Bereich.

Funktion



Abb. 16: Skalierung des Luftdrucks

1	tiefer Luftdruck	2	hoher Luftdruck
---	------------------	---	-----------------

Die aerodynamische Umströmung des Blattprofils mit und ohne T-Spoiler sieht wie folgt aus:

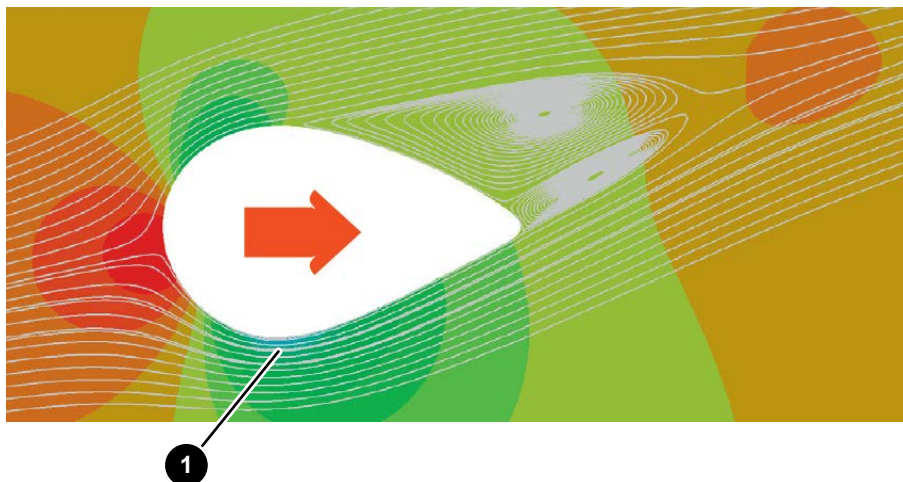


Abb. 17: Strömungsverlauf ohne T-Spoiler am Rotorblatt

1	Unterdruck (grün-blau)
---	------------------------

Der Unterdruck (grün-blau) erzeugt auf der saugseitigen Rotorblattoberfläche ein negatives Generatormoment.

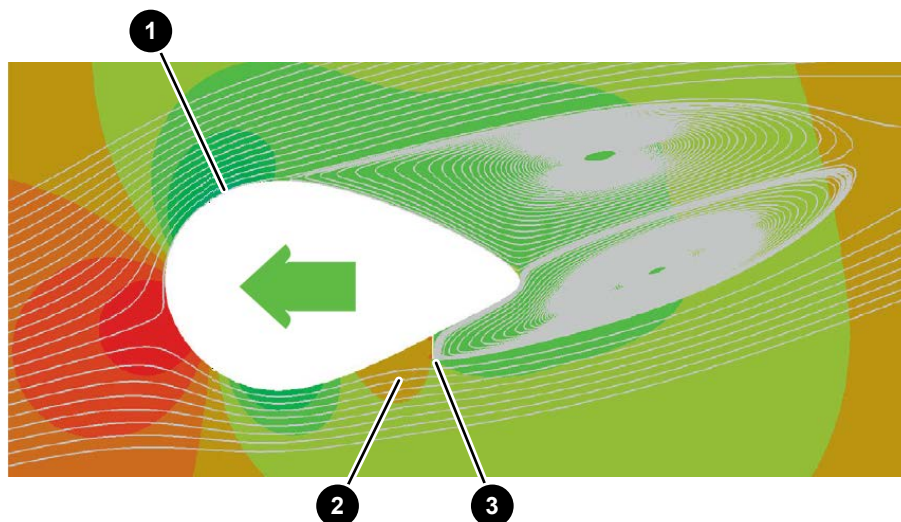


Abb. 18: Strömungsverlauf mit T-Spoiler am Rotorblatt

1	Unterdruck (grün-blau)	2	Überdruck (orange)
3	positionierte T-Spoiler auf der Druckseite des Rotorblatts		

Der Unterdruck (grün-blau) auf der Rotorblattoberfläche erzeugt ein positives Generatormoment.

Der Überdruck (orange) auf druckseitigen Rotorblattoberfläche verursacht auch ein positives Generatormoment.