

Vergleichende Bemerkungen zur USD (Upside-Down) Windfahne / USU (upside up) Windfahne

(Dr. Jörn Heinrich, 03/2009)

Der folgende Artikel hat zum Ziel, die grundlegenden Steuereigenschaften der neuartigen USD-Windfahne mit der USU (Up-side up) Windfahnensteuerung zu vergleichen, die derzeit in vielen bewährten kommerziell erhältlichen Systemen eingesetzt wird. Der Vergleich soll auch eine Entscheidungshilfe liefern, welcher Windfahnentyp für den Einsatzzweck geeigneter erscheint.

Das USD-Konzept

Die USD-Windfahne (Jan Alkema) ist ein Konzept, bei dem die Windfahne nach unten und das Gegengewicht nach oben zeigt. Der Entwickler des Konzeptes, Jan Alkema, hat nachgewiesen, dass dieser Windfahnentyp unter bestimmten Voraussetzungen (s.u) Vorteile gegenüber einer „normalen“ USU (Up side up) Windfahne hat.

Das USD-Konzept bewirkt, dass die Neigung der Windfahnenachse gegenüber der Horizontalen mit der Krängung des Schiffes abnimmt, während bei einer „normalen“ Windfahne die Neigung der Windfahnenachse mit der Krängung des Schiffes zunimmt.

Die USD-Windfahnenachse des Entwicklers des Systems hat einen neigbaren Winkel von 30°-40° gegen die Horizontale. Es werden jedoch zur Zeit auch USD-Modelle kommerziell angeboten, die sich von 25 - 45° Neigungswinkel einstellen lassen. Diesen Winkel mit der daraus resultierenden Servoverstärkung hat die Windfahnenachse bei ungekrängtem Schiff, also mit vertikalem Mast. Krängt das Schiff, so wird die Neigung der USD-Windfahnenachse gegen die Horizontale geringer, und damit die Servoverstärkung und der Ruderausschlag je Grad Kursabweichung vom scheinbaren Wind größer.

Jan Alkema geht bei seinen Überlegungen von folgenden Voraussetzungen aus:

1. Bei achterlichem sowie raumem Wind, wenn das Schiff nur minimale Krängung hat, braucht man die geringste Servoverstärkung (d.h. geringen Ruderausschlag in Abhängigkeit von der Kursabweichung zum scheinbaren Wind).
2. Bei Halb- und Amwindkurs braucht man eine höhere Servoverstärkung, d.h. einen stärkeren Ruderausschlag in Abhängigkeit von der Kursabweichung.

Unter diesen Voraussetzungen mag das USD-Konzept schlüssig scheinen, weshalb der Entwickler auch mit einem Innovationspreis (AYRS, Amateur Yacht Research Society, Großbritannien) dafür ausgezeichnet wurde.

Allerdings ergeben sich aus dem USD-Konzept eine Reihe von Problemen, weshalb sich für das Konzept für seegängige Yachten Fragen hinsichtlich der Sicherheit stellen. Andererseits werden Vorteile offensichtlich, die spätestens dann zutage treten, wenn man vor einem Sturm auf offener See ablaufen muss - hier ist die USD-Anlage prinzipiell geeigneter, einen gefürchteten Knockdown zu vermeiden als eine normale Windfahne.

Was macht eine USD-Windfahnensteuerung unter Umständen seeuntauglich:

Eine USD-Windfahnensteuerung ist hinsichtlich eines sicheren Designs kritischer als eine normale Windfahnensteuerung mit aufrechter Windfahne. Im folgenden zunächst die wesentlichen Probleme, die beim Design einer solchen Anlage für seegängige Schiffe besondere Beachtung finden müssen:

Man braucht einen Mast für die Windfahne, der mindestens um Windfahnenlänge höher ist, als bei einer normalen Windfahne. Dies kann besonders bei schwerem Wetter erhebliche Stabilitätsprobleme ergeben. Die Anlagen "MisterVee", "Walt" und andere von Sven Heestermann beispielsweise nutzen das USD-Konzept mit einem ca 1,5 m hohen, dünnen GFK-Mast. Man braucht keine besondere Phantasie um zu wissen, was mit diesem Mast samt Windfahne passiert, wenn eine See darüber bricht.

Doch die eigentliche Gefahr der USD-Windfahnenkonstruktion kann darin liegen, dass der von der Anlage produzierte Ruderausschlag mit zunehmender Krängung zunimmt. Bei einer "normalen" Windfahne dagegen nimmt der Ruderausschlag je Grad Kursabweichung mit zunehmender Krängung ab. Das Kernproblem der USD-Konstruktion ist die Grenzkrängung. Und die kann tatsächlich gefährlich werden. Während eine normale, aufrechte Windfahne einer Servo-Pendelrudersteuerung an Ruderwirkung verliert, je stärker das Schiff in einer Boe oder durch Seegang krängt, ist das Gegenteil bei der USD-Windfahne der Fall: Je stärker die Krängung, umso stärker der Ruderausschlag je Grad Abweichung vom richtigen Kurs zum Wind. Doch nur bis zu dem Krängungswinkel, bei dem die Windfahnenachse schließlich horizontal ist. Die Grenzkrängung. Spätestens ab jenem Krängungswinkel gibt die USD-Servoanlage gnadenlos Hartruder. Hart Backbord, dann wieder hart Steuerbord. Das wird die Yacht in kritischer Situation zunächst möglicherweise abbremsen, doch damit kann die Yacht auch die Steuerfähigkeit verlieren. Was in hoher See fatal sein kann.

Doch die beschriebene kritische Situation ist nicht das einzige Manko an dem neuartigen USD-Prinzip. Es ist im Vergleich mit einer normalen Windfahne ein höherer Verschleiß der Ruderanlage bei Dauernutzung vorprogrammiert. Denn die USD-Anlage macht immer dann die größten Kurskorrekturen, wenn die Krängung der Yacht besonders groß ist. Und damit das Ruder besonders belastet. Eine normale (aufrechte) Windfahne macht ihre größte Kurskorrektur immer genau dann, wenn der Mast in der Vertikalen ist. Wenn das Schiff stärker krängt, tendiert eine "normale" Windfahne einer Servorudersteuerung eher dazu, den Kurs nur zu halten, als starke Ruderbewegungen auszulösen. Im Folgenden nun vergleichende Detailbetrachtungen bestimmter, charakteristischer Situationen.

Es ist dabei zu beachten, dass der Entwickler, Jan Alkema betont, dass das beschriebene negative Verhalten und dadurch möglicherweise kritische Situationen allesamt durch eine Beachtung der Limits des UDS-Prinzips und auch entsprechendem Design vermieden werden können (s.u.).

Glattwasser auf halbem Wind:

Segelt man auf Glattwasser bei halbem Wind mit Krängung dicht beim Neigungswinkel der Windfahnenachse, so ist die Servoverstärkung hoch, und das Boot tendiert eher zur Übersteuerung (Schlangenlinien), obwohl in dieser Situation eher nur ein Halten des Ruders erforderlich wäre. Eine normale Windfahne agiert hier in jedem Falle ruhiger.

Halbwindkurs mit hoher seitlicher See:

Segelt man bei Seegang auf halbem Wind, so wird man je nach Höhe des Seegangs wechselnde Krängungswinkel des Bootes im Bereich von, beispielsweise, -10° bis $+45^\circ$ erleben. Auch unter diesen Bedingungen wird man mit USD-Windfahne genau in dem Moment, wenn das Boot in einer anlaufenden seitlichen Welle stark leewärts rollt, genau dann eine heftige Überreaktion der Windfahne und damit des Ruders erleben, wenn die Krängung nach Lee in die Nähe der konstruktiv vorgegebenen Neigung der Windfahne kommt.

Dabei ist es dann eher Zufall, in welche Richtung stark Ruder gelegt wird, lee- oder luvwärts. Dieses unvorhersehbare Verhalten kann je nach Wellenlaufrichtung unter Umständen dazu führen, dass das gekrängte Schiff entweder hart nach Lee abdreht und die Welle hinuntersurft, oder hart nach Luv abdreht und aus dem Halbwindkurs heraus fast einen Sonnenschuss über den Wellenkamm vollführt, dabei beinahe stehenbleibt. Die normale Windfahne verhält sich genau umgekehrt: Rollt das Schiff leewärts, so wird das Ruder eher nur auf Kurs gehalten, während eine stärkere Kurskorrektur in dem Moment erfolgt, wenn das Boot auf oder hinter dem Wellenkamm luvwärts rollt. Damit erfolgt die Kurskorrektur bei normaler Windfahne genau dann, wenn das Ruder die geringste Belastung erfährt.

Neigung zum „in den Wind schießen“ beim Amwindkurs

Fällt auf dem Amwindkurs eine Bö ein, so bedeutet dies für das Boot zunächst eine sofortige stärkere Krängung mit nachfolgender Beschleunigung und damit vorlicher einfallendem scheinbaren Wind. Zudem ist konstruktiv bei den meisten Booten eine „gutmütige“, mit der

Krängung zunehmende Luvgerigkeit vorgesehen.

Während eine „normale“ Windfahne bei stärkerer Krängung das Schiff ruhiger auf Kurs hält, und die Beschleunigung des Bootes langsam nachsteuert, reagiert die USD-Windfahne bei der starken Anfangskrängung in einer Boe mit stärkerem Ruder.

Allerdings sprechen Erfahrungen mit stark luvgerigen Schiffen auf Amwindkurs auch **für** die USD-Windfahne, die in stärkerem Maß als eine normale Windfahne in der Lage ist, bei der mit zunehmender Krängung in einer Boe die schnell zunehmende Luvgerigkeit des Bootes auch schneller auszusteuern.

Betrachtung zur "Gutmütigkeit" auf Amwindkurs bei Seegang:

Bei Seegang auf Amwindkurs hebt eine schräg vorlich anlaufende, hohe Welle das Boot mit dem Bug leewärts, und vergrößert die Krängung. Die USD-Windfahne reagiert darauf mit, starker Kurskorrektur in Richtung des Wellenkamms, weil die Krängung momentan zunimmt, und dabei das Schiff nach Lee etwas abdreht. Die normale Windfahne dagegen verhält sich aufgrund erhöhter Krängung passiver, und hält eher Ruder, steuert damit eher parallel zum Wellenkamm denn vierkant darauf zu.

Der Wellenkamm wird überquert: Krängung nimmt ab. Die USD-Windfahne verliert an Servoverstärkung, steuert passiver. Dagegen nimmt die normale Windfahne genau jetzt ihre Kurskorrektur auf dem Weg ins nächste Wellental nach luv vor. Und damit entspricht die Charakteristik einer normalen Windfahne genau dem, was ein aufmerksamer Rudergänger in jener Situation leisten würde: Vor dem Wellenkamm nach Lee abdrehen um nicht festzustampfen, im Wellental Kurs luvwärts zum Höhengewinn.

Betrachtung zu starkem Seegang, ablaufen bei Sturm

Eine große Gefahr geht beim Segeln vor raumem Starkwind bis Sturm davon aus, dass das Boot in einer steilen achterlichen See stark beschleunigt und aus dem Kurs laufend sich parallel zur Welle dreht und querschlägt. Hier bietet die USD-Windfahne eindeutig einen prinzipiellen **Vorteil** gegenüber einer normalen Windfahne:

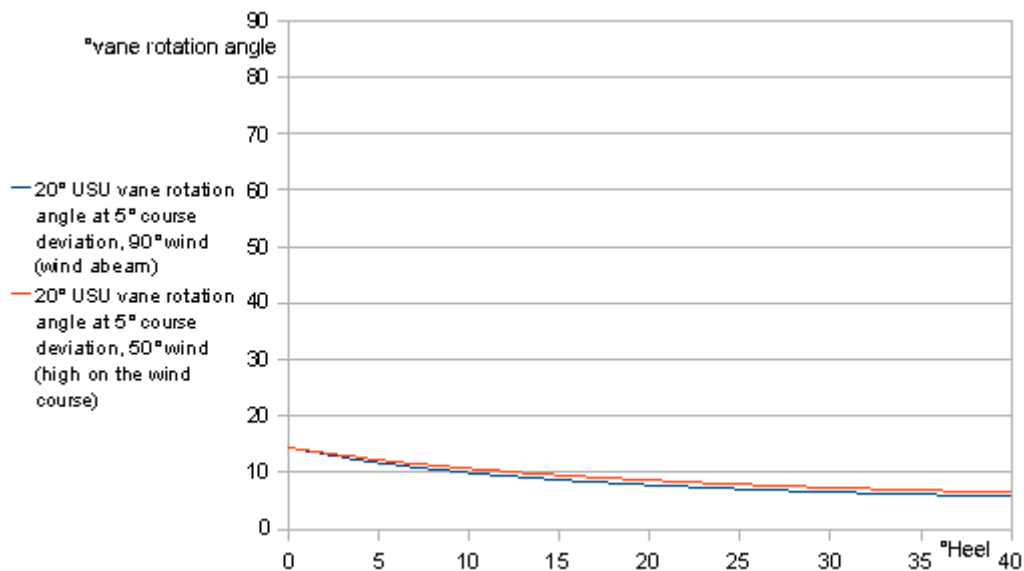
Wenn eine steile See das Boot achtern anhebt, so verringert sich der von der normalen Windfahne produzierte Ruderausschlag, während er sich bei der USD-Windfahne vergrößert. Damit wird die USD-Windfahne unter solchen Bedingungen mit Sicherheit eher in der Lage sein, einen "Knockdown" durch stärkeres Ruderlegen zu vermeiden, als eine normale Windfahne. Allerdings auch nur bis zu ihrer Grenzkängung, darüber gibts beim Surfen Hartruder lee, dann wieder hartruder Luv. Allerdings muss die Welle dann schon mindestens 30-45° steil sein.

Dieses ist abgesehen vom Ablaufen bei Sturm auch ein generelles Kennzeichen der USD-Windfahne bei Seegang mit raumer oder achterlicher Welle: Die USD-Windfahne ist in dem Moment, wenn das Boot achtern oder seitlich achtern angehoben wird, eher in der Lage, schnell gegenzusteuern als eine normale Windfahne.

Die folgenden Grafiken, veranschaulichen das unterschiedliche Steuerverhalten der beiden Konzepte USU - USD-Windfahne. Aufgetragen sind die Windfahnenrotation in Abhängigkeit von der Krängung (Heel) des Bootes, jeweils bei 5° Abweichung des Bootes vom Kurs zum Wind.:

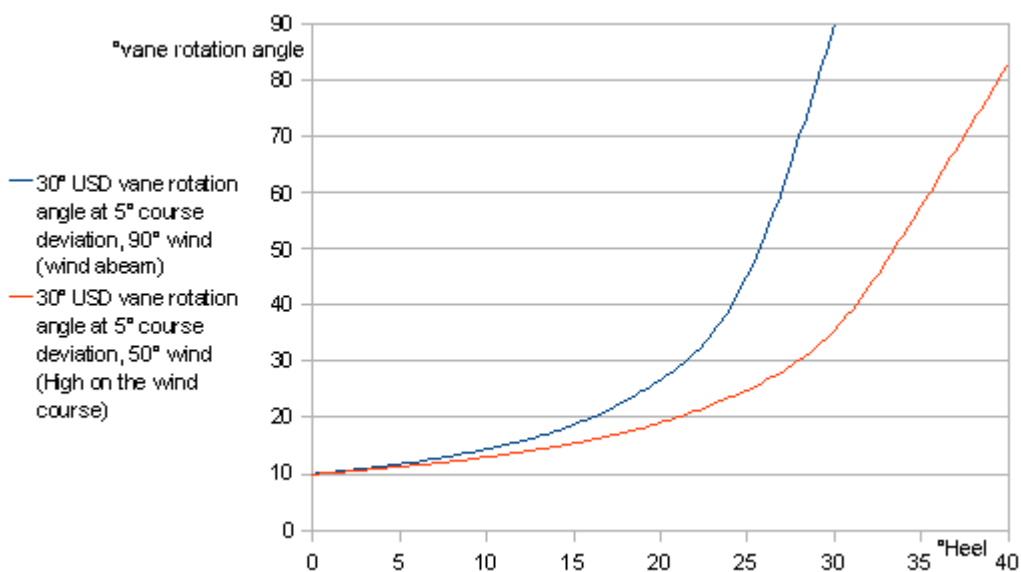
Zunächst die "normale" Windfahne, blaue Linie: Halbwindkurs, rote Linie: Amwindkurs.

Die Windfahnenrotation (und damit auch mit entsprechender Untersetzung die Kurskorrektur am Ruder) liegt beim ungekrängten Boot bei ca 14° und nimmt mit zunehmender Krängung langsam bis auf ca die Hälfte dieses Wertes ab. Es besteht dabei kein wesentlicher Unterschied zwischen Halbwind- und Amwindkurs.



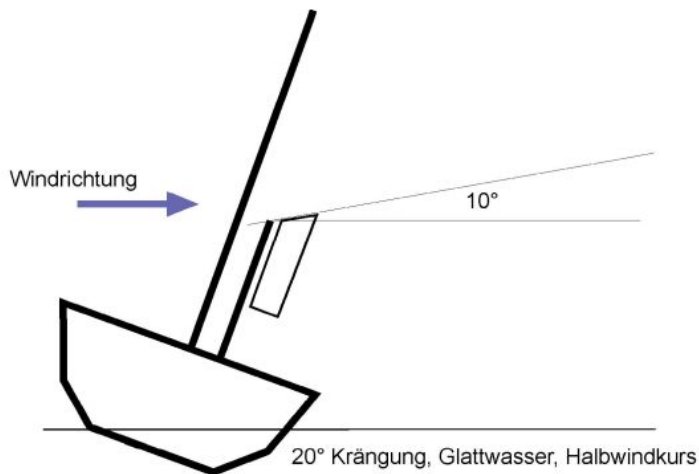
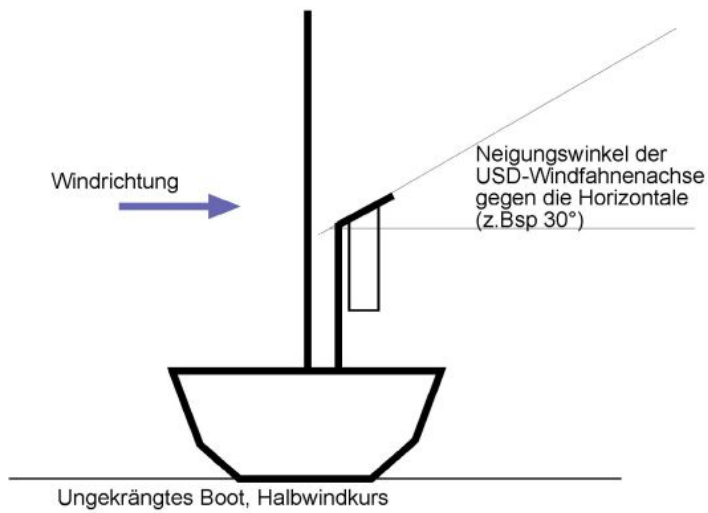
Dagegen für eine Upside-Down-Windfahne mit 30° Windfahnenneigung:

Der Halbwindkurs ist besonders kritisch (blaue Linie). Erreicht das Boot eine Krängung (Heel), die dem (negativen) Neigungswinkel der Windfahne entspricht, so funktiert die Windfahne nicht mehr proportional zur Kursabweichung, sondern wird zum backbord/steuerbord-Schalter, der entweder hart Backbord oder hart Steuerbord legt - soweit es die Verbindung von Servoruder zu Ruder zulässt.

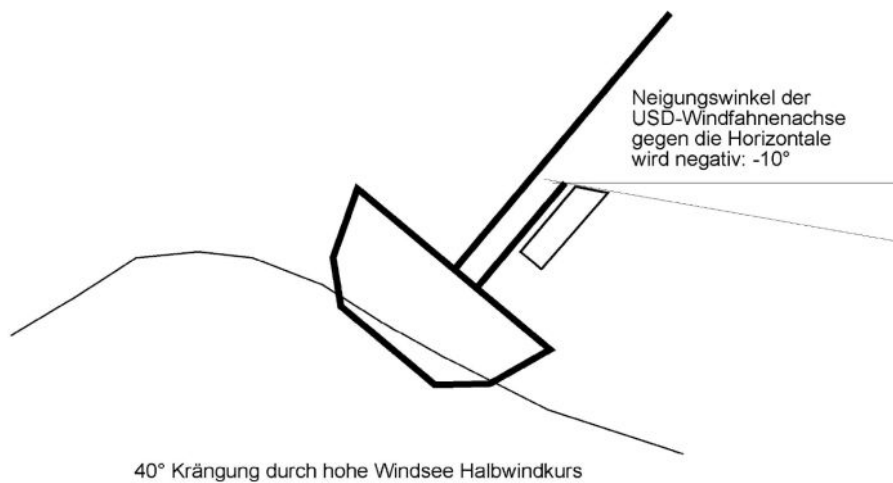


Beim Amwindkurs ist das Problem immer noch vorhanden, wenn auch in etwas schwächerer Form: Verschieben zu etwas größeren Krängungswinkeln.

Illustriert wird das grundlegende Problem der USD-Windfahne von Jan Alkema anhand der folgenden Grafiken:



Bereits ab 25° Krängung durch eine Boe auf Glattwasser und Halbwindkurs kann die USD-Windfahne stark zu Übersteuerung neigen



In dieser Situation klappt die Windfahne nur auf eine Seite, und legt Hartruder. Mal nach Backbord, dann wieder nach Steuerbord. Das Schiff verhält sich unvorhersagbar. Extreme Belastung aufs Ruder.

Fazit:

Verglichen mit einer normalen Windfahnensteuerung ist eine USD-Windfahnensteuerung ein bisschen wie eine Diva: Sie hat eine Steuergrenze, die von der Krängung nicht erreicht werden darf, sonst schlägt sie wild aufs Ruder ein. Man muss sie so konstruieren, dass der maximale Krängungswinkel zumindest auf Halbwindkurs auch im Seegang nie den Winkel der Windfahnenachse erreicht (Die aktuellen kommerziellen USD-Systeme mit Windfahnenneigungen von 25°-45° halte ich diesbezüglich für nicht seetauglich)

Ein aus Sicherheitsgründen konstruktiv hoch gewählter Anstellwinkel z.Bsp 50°-75° kann allerdings zur Folge haben, dass die Anlage unter schwächerem Wind oder bei geringer Krängung nur unzureichend aktiv steuert. Wenn man dies mit der Übersetzung von Windfahndrehung aufs Ruder ausgleicht, hat man die oben beschriebenen Übersteuerungsprobleme bei stärkerer Krängung ggf. wieder. Ausserdem muss die USD-Windfahne für schwächeren Wind dann weitaus größer sein, um die Kraft zur Drehung des Servoruders aufzubringen: Weil bei wenig Wind weniger Krängung vorhanden ist. Das ist ein eindeutiger Pluspunkt der normalen Windfahne, die bei wenig Wind, d.h. geringere Krängung einen höheren Ruderausschlag verursacht.

Also muss mit einer USD-Windfahne am besten sowohl die Achsenneigung in einem weiten Bereich (30°-70°) vorgebar sein, als auch die Übersetzung von Servoruder aufs Ruder, zum Beispiel mit veränderlichen Hebellängen von Servoruder zu Ruderansatzpunkt.

Stark luvgerigen Schiffen kann eine USD-Windfahnensteuerung gegenüber einer normalen Windfahnensteuerung auf Amwindkurs Pluspunkte durch einen stabileren Kurs bringen. Bei einem hinsichtlich der Luvgerigkeit eher neutralen Schiff steuert die normale Windfahne auf einem Amwindkurs schiffsschonender, nämlich eher wie ein guter Steuermann: Abfallen vor dem Wellenkamm, anluven danach.

Der Vorteil, bei achterlichen bis raumen Schwachwind-Kursen einen - konstruktiv festgelegt - größten Anstellwinkel gegenüber der Horizontale zu bieten, ist nur für kursstabile Langkieler ein Vorteil. Denn dadurch fehlt die bei einer neigbaren USD-Windfahnenachse vorhandene Möglichkeit, die Trägheit der Ruderreaktion bei Geschwindigkeiten weit unterhalb der Rumpfgeschwindigkeit des Bootes durch einen geringeren Anstellwinkel der Windfahnenachse auszugleichen. Das macht die USD-Windfahne - wenn nicht speziell für schwächeren Wind konzipiert - weniger tauglich für schwachen Wind nicht nur auf achterlichen bis raumen Kursen.

Allerdings bietet die USD-Windfahne bei hoher achterlicher oder raumer See entscheidende Vorteile durch eine stärkere Reaktion, wenn das Schiff achterlich durch die See angehoben wird. Und das ist ein Sicherheitsplus, falls man vor einem Sturm ablaufen muss. In dieser Situation wird die USD-Windfahne eher einen Knockdown verhindern, als eine normale Windfahne.

Das Verhalten eines Bootes im Seegang und die damit zusammenhängenden unterschiedlich großen Kräfte unter Welleneinwirkung lassen das USD-Konzept fragwürdig hinsichtlich der Belastung der Ruderanlage erscheinen: Kurskorrekturen nehmen generell mit der Krängung zu. Genau dann, wenn das Boot momentan stärker belastet wird. Die normale Windfahne korrigiert genau dann stärker den Kurs, wenn das Boot aufrecht ist und das Ruder eine geringere Belastung erfährt.

Auf Halbwindkurs in schwerer See mit starker wellenbedingten Krängung kann eine Selbststeueranlage mit schlecht designter USD-Windfahne ein reales Risiko darstellen, weil die Anlage bei Überschreitung der Grenzkrängung - jene zu niedrig konstruiert - dann nur noch binär arbeitet: Hartruder backbords oder steuerbords, dazwischen nichts. Eine normale Windfahne dagegen wird bei starker Boen- oder wellenbedingter Krängung dazu tendieren, das Ruder nur zu halten.

Für das richtige Design und die Verwendung einer USD-Windfahnensteuerung gehört mehr Know-How, als zur Herstellung und zur Benutzung einer normalen Windfahnensteuerung - die USD ist eben eine Diva.