

Die Flügel sind der Kern des Ganzen.

Wenn man die Flügel hat, kann man den Rest der Windmühle bauen. Hat man die Flügel nicht, dann nützt es nichts, dass man den Rest der Windmühle bauen kann. Das ist die grundlegende Philosophie hinter der dänischen Windmühlenindustrie, die seit 1975 aufgeblüht ist und seitdem eine internationale Führungsposition mit 40% der globalen Windmühlenproduktion innehat. Das ist sehr viel für ein kleines Land mit 5 Millionen Einwohnern. Zudem ist diese Entwicklung in einer Periode geschehen, in der ein großer Teil der Produzenten der Sparte Stahlkonstruktion und Maschinenbau aufgegeben wurde oder in Billiglohnländer verlegt wurde.

Auf dem Hintergrund des beschriebenen Produktionskonzepts wurde es vor einigen Jahren relativ leicht, Windmühlen zu konstruieren und sich als Windmühlenproduzent niederzulassen, wenn man Standardbauteile verwendete. Es war nämlich der Begriff der „Komponentenwindmühle“ entstanden.

Der Verfasser dieses Artikels präsentierte den Begriff auf einem der ersten Windmühlentreffs, die von der neu gestifteten *OVE*, der „*Organisation für Bleibende Energie*“ in der Brandbjerg Højskole am 20 November 1976 abgehalten wurde.

Das Wort Innovation war damals nicht in den Sprachgebrauch eingegangen, aber die strukturelle Aufteilung einer Windmühle in Einzelkomponente war die Innovation, die Dänemark entscheidende Wettbewerbsvorteile verschaffte, wenn es um Windmühlenproduktion ging. Das war weit billiger, als die Teile grundlegend selber zu konzipieren und zu prüfen und die Produktionsanlagen für alle Bauteile - auch die Flügel - zu konstruieren und zu bauen. Das gilt insbesondere für die vielen kleinen Unternehmen, die die Grundlage für die dänische Windmühlenindustrie stellen. Aber

auch größere Unternehmen sind daran zerbrochen, alles selber machen zu wollen. die amerikanischen Carter Windmühlen, die deutsche Aeroman und die dänische Riisager sind Beispiele für Windmühlenhersteller, die nicht Standardbauteile benutzten, sondern ihre eigenen Bauteile entwickelten.

Die Idee des unabhängigen Flügelherstellers taucht das erste Mal in einem Artikel in dem Tageszeitung Information vom 22. März 1976 auf. Darin äußert *Amdi Petersen* von *Vestjysk Energikontor* in Tvind, daß das nächste, „das wir in Angriff nehmen, die Entwicklung einiger ganz konkreter Modelle sein wird. Z.B. können wir Bauformen herstellen, mit denen die Leute ihre Flügel machen können. Die Flügel sind ja oft das größte Problem. Deshalb werden wir das bald anfangen.... Das ist ganz im Geiste des Windes. Er kann nicht monopolisiert werden. Das wollen wir auch gerne verhindern, daß das mit der Nutzbarmachung geschieht. Dann braucht sich keiner zurückhalten. Man kann einfach kommen..... alle Erfahrungen sollen allen anderen zugutekommen“.

Tvind war dabei, mit eigenen Mitteln eine der größten Windmühlen der Welt zu bauen. Sie wurde 1976 in Betrieb genommen. Sie ist immer noch in Betrieb. Aber Tvind schaute weiter und arbeitete mit seiner Offenheit auf der gleichen ideologischen Grundlage wie die Pioniere der dänischen Kooperativ-Bewegung Ende des 19. Jahrhunderts. Bei der Durchführung des ersten dänischen Patentgesetzes 1895 gelang es ihnen festzuschreiben, daß Prozesse und Techniken der Landwirtschaft nicht patentierbar wurden. Erfindungen sollten nicht den einzelnen Menschen vergolden, sondern dem Volk zur Verfügung stehen. Nicht zuletzt Poul la Cour verwirklichte diese Produktionsphilosophie in der Praxis. Er war kein Bill Gates. Das Konzept von Paul la Cour machte zehntausende Windmühlen auf dänischen Bauernhöfen möglich. Die Mechanisierung durch die Kraft des Windes erzeugte Fortschritt und Wohlstand in dem ländlichen Raum. Zum Nutzen der ganzen Bevölkerung.

Es ist nicht politisch korrekt, Tvind die Ehre zuteil werden zu lassen, die Grundlage für die dänische Windmühlenindustrie gelegt zu haben. In den geschriebenen Geschichten über die Windmühlen will man deshalb auch lieber betonen, daß Tvind professionelle Hilfe von *Danmarks tekniske Højskole* und von *Risø* erhielt. Oft überspringt man auch

einige Glieder und erzählt mitreißend über Einzelpersonen, die sich in dem Mülenteam verschlissen oder wichtige Berechnungen durchführten, um die Forschung in funktionstüchtige Windmühlen umzusetzen.

Dennoch muß man feststellen, daß es für Dänemark ohne den verketzerten Tvind-Konzern kaum eine führende Rolle in der Produktion von Windmühlen gegeben hätte. Schon alleine daß Tvind freigebig in die Entwicklung sowohl einer sehr großen und einer kleinen Windmühle Anfang der 1970-iger Jahre investierte, war wichtig. Die etablierte Industrie glaubte ja nicht an eine Zukunft der Windkraft, so wie sie auch heute dezentralen Energielösungen skeptisch gegenübersteht. Aber sowohl die große Tvindmühle mit 2000 kW und die kleine mit 18 kW hatten große technische und symbolische Bedeutung für die Windmühlenentwicklung.

Die Tvindleute waren innovativ und mutig, was viele andere dazu inspirierte, mit der Windkraft zu arbeiten. Sie wurde in einer Reihe von Jahren eine Bewegung des Volkes. Zwischen 1975 und 1980 blühten zahlreiche andere Windmühlen- und Flügelkonzepte auf, die doch fast alle in Vergessenheit gerieten. Darüber kann man mehr im Buch „*Vedvarende Energi i Danmark*“ vom *OVEs Forlag 2000* lesen.

Von größter Bedeutung für die dänische Mühlenindustrie ist das Konzept, das für die 26m langen Flügel der Tvind-Mühle entwickelt wurde. Amdi Petersen bestand darauf, daß gerade diese Lösung angewandt werden sollte. Und das wurde sie. Das Konzept war deutsch, entwickelt und in der Praxis erprobt an Windmühlen und Helikoptern von Professor Erich Hütter vom Deutschen Institut für Luft- und Raumfahrt der Technischen Universität in Stuttgart. Seine Flügeltechnik war charakterisiert durch die Art, wie die Flügel mit „Glasfasertauen“ an die Bolzen der Nabe an der Flügelwurzel befestigt wurden. Hier ist der Schwachpunkt des Mühlenflügels, was übrigens eingehend in dem Uno-Bericht *New Sources of Energy* von 1961 beschrieben ist.

Tvind bekam Hilfe von Risø und Danmarks Tekniske Højskole für die Detailberechnungen, aber die führenden nationalen Labors bevorzugten ganz andere Flügelkonzepte als Tvind. Man findet ihre Konzepte in zwei Versionen an den *Nibemøllerne*, an DWT 15 und an 265 kW-Mühlen und später an der *Esbjerg-Møllen* mit 2MW. Keine dieser

Konstruktionen kann man behaupten - im Gegensatz zu dem von Tvind- führen in die Richtung des „siegenden“ Konzepts, um zu einem industriellen Produkt zu werden. Auch keine großen ausländischen potenten Konzerne und hervorragende Institute gut ausgestattet mit Forschern und hunderten Millionen Kronen für Forschung und Entwicklung fand ein tragfähiges Konzept.

Es war Tvind, das 1976 die Flügeltechnik in Dänemark einführte, der Standard wurde und zu dem entscheidenden Durchbruch der dänischen Windmühlenbauer führte. Das ist entweder nicht bekannt oder erkannt. Auch technologische Entwicklung ist voreingenommen, und die Öffentlichkeit kümmert sich am liebsten um die Ideologien von Tvind. Wenn es um technologische Weitsicht und Innovation geht, unternahm man jedoch in diesen Jahren in Tvind Schritte, von denen ich meine, daß der Gründer und Primus Motor von Tvind, Amdi Petersen wie ein Rudolf Diesel der Windmühlen den Initiativ-Preis von *Dansk Industri* oder der Windmühlenindustrie oder eine andere Form bedeutender öffentlicher Ehrung bekommen sollte. Nicht zuletzt die Aktionäre der Windmühlenfabriken haben Tvind viel zu verdanken. Wäre es ein privater Erfinder, ein Mads Clausen oder ein Institut, das den Durchbruch geschafft hätte, dann hätte man schon längst die Medaillen hervorgekramt. Das kann übrigens immer noch nachgeholt werden.

Die Komponentenwindmühle.

Beim Windmühlentreff im November 1976 kam die Idee der Komponentenwindmühle einen Schritt weiter. Auf dem Treff wurde eine Reihe von Windgruppen gebildet. u.a. eine über Glasfaserflügel. Hier schlägt der Verfasser vor, „ dass 20 Mühlenbauer sich zusammenschließen, um in eine Form für z. B. einen 8-Meter Flügel zu investieren und sie zu bauen.“ In der Gruppe saßen u.A. Rio Ordell, Erik Grove Nielsen, Jens Gjerdeing, Claus Nybroe und Peter Andersen. Letztgenannter boten an, Flügelberechnungen zur Verfügung zu stellen.

Jens Gjerding aus Tvind zögert nicht. Hier baut man eine auf 4,5 Meter formgetreu verkleinerte Version des Flügels der großen Tvindmühle, die an einer 18 kW-Windmühle erprobt werden soll, die *PTG-Møllen* genannt wird. D.h. Praktischer Theoretischer

Grundkurs, also ein Grundkurs zum Bau von Windmühlen. Tvind steuert keine kommerzielle Flügelproduktion an, sondern überlässt Eigenbauern einen Flügel zum Kopieren. Vier Pioniere bei Kolding gelingt es, eine Gießform zu bauen und wenige Monate später sind 4,5 Meter lange Tvind-Flügel produziert worden.

Sie werden an Elektroinstallateur *Leif Nielsens* Windmühle in Gredstedbro benutzt, jedoch schon im Sommer 1977 verliert die Mühle einen Flügel, und das Interesse am Selbstbau von Glasfaserflügeln schwindet. Die Flügelform kauft Erik Grove Nielsen, Økær bei Viborg, und er kommerzialisiert den Tvind- Flügel. Das ist der erste Satz Flügel eines unabhängigen Flügellieferanten, und damit ist die Komponenten-Windmühle eine Realität. Interessierte Windmühlenproduzenten können fortan in den folgenden Jahrzehnten Flügel kaufen, bei denen der Flügelproduzent das Urheberrecht hat und den Flügel liefert. Das macht es schlagartig leichter, eine Windmühle auf den Markt zu bringen, aber hat geschäftsmäßig den Nachteil, daß man einen Flügel anwendet, den andere auch kaufen können. Das alleine verschärft den Wettbewerb zwischen den Windmühlenproduzenten.

Der erste Satz 4,5 Meter *Økær-Flügel* wird Ende 1977 an Mechaniker Svend Adolfsen in Knudstrup bei Viborg geliefert. Er hat eine 11kW Windmühle mit Lastkraftwagen-Hinterachsensystem gebaut; eine Mühle mit Lee-Anordnung und aktiver Nachführung. Dem Mühlentyp ist ein langes Leben beschieden als *Kuriant-møllen*, *Bosted-møllen* und *Genvind*. Der Typ erreicht es auch noch mit 5-Meter Økær-flügel und mit *KJ Flügel* zu laufen. Er hat keine Luftbremse und als Kind des großen Tvind-flügels läuft er schnell und lärmt. Damit können die Verbraucher nicht leben, und bald gibt es keine Kunden bei dem neuetablierten Flügelproduzenten.

Das hätte das Ende des unabhängigen Sektors für Flügelherstellung sein können, wenn nicht Erik Grove Nielsen aufgegeben hätte, als seine Kapitalgrundlage äußerst dünn war. Aber verschiedene Kräfte spielten zusammen. In Thy war man dabei, eine lokale Produktion von 22 kW Windmühlen anzupacken statt bei *Chr. Riisager* zu kaufen, der wichtigster Windmühlenlieferant der des Jahrzehnts von 1970 bis 1980 war. Eine Allianz innerhalb von NIVE bestehend aus zwei Ingenieuren, Schmieden, Lehrern der

technischen Schule und interessierten Käufern mit dem Verfasser als Koordinator der gemeinsamen Initiative beschließt 1976, eine Windmühle von Grund auf zu konstruieren: Ein moderner luvseitig vom Turm laufender Rotor mit Asynchrongenerator, Fenner Hohlwellengetriebe, zwei kräftigen Hauptlagern, aktiver elektrischer Nachführung und selbstentwickeltem Gitterturm, Steuerung und den 3 Flügeln aus Glasfaserverbund. Wir konnten alles lokal konstruieren und herstellen - außer den Flügeln. Wir wollten unter keinen Umständen die lärmenden 4,5 Meter Tvind-Flügel für Økjær benutzen. Deshalb begannen *Ian Jordan* und der Verfasser damit, in dem späteren *Folkecenter* die Form eines 5 Meter-Flügels mit den Spezifikationen entsprechend der Gedser-Mühle (maßstabgetreu verkleinert) von 1958 herzustellen. Also keine Experimente. Wir hatten in Vinderup auch einen Glasfaserfabrikanten gefunden, der den Flügel gerne produzieren wollte.

Die Entwicklungsarbeit war weit fortgeschritten, als es zum Kontakt mit *Erik Grove Nielsen* kommt, der höflich aber ganz richtig darauf aufmerksam machte, daß kein Grund bestand, noch mehr Flügelprojekte vom Stapel zu lassen. Er konnte seine Produkte nicht verkaufen und hatte eine Werkstatt in Økjær extra für die Flügelherstellung eingerichtet. Es wurde ihm klar gemacht, daß wir nicht seine 4,5 Meter-Flügel brauchen wollten, sondern einen 5 Meter-Flügel mit 73 Umdrehungen pro Minute wünschten.

Er sollte unter keinen Umständen in eine neue Flügelproduktion investieren, um dann sein Produkt später nicht verkaufen zu können. Teil der Verhandlungen wurde, daß der Verfasser im Laufe einer Woche meinte, Order für fünf Flügelsätze sichern zu können. Und dieses geschah auch. Es endet glücklich. NIVE bekommt seinen Flügel mit Tvind-Technologie für den Konstruktionsteil und mit J. Juuls Erfahrungen von der Gedsermühle für den optimalen Flügel. Die erste Mühle wurde bei HP Maskinfabrik in Thisted zusammengebaut. Mit Flügeln von *Økjær*, Steuerung von *HM Automatic*, und sie wurde bei Fjendbo Jørgensen westlich von Thisted aufgestellt. Sie funktionierte fast perfekt vom ersten Tag an, nur waren es jetzt nicht die Flügel, sondern das Getriebe, das am meisten lärmte.

Damit ist dieser Teil der Geschichte fest: Keiner braucht sich jetzt zurückhalten. Es sollte sich zeigen, daß Amdi Petersens industriepolitische Vision Dänemark das Führungstrikot der siegreichsten der sauberen Energieformen sicherte. Das war der erste Schritt auf einem langen Marsch. Nun haben wir in Dänemark einen unabhängigen Lieferanten für Flügel (und übrigens auch für Steuerungen), also spezialisierte Sublieferanten, mit denen die kommenden Windmühlenproduzenten in Dänemark zusammenarbeiten können.

Sie ergreifen schnell die Chance. Aus anderen Beschreibungen ist die Geschichte der *Herborg-Møllen*. Hier ist viel Dramatik und Pioniergeist in der Entwicklungsarbeit. Der Ort wird ein wichtiger Ausbildungsplatz für zukünftige Windmühlenkonstrukteure und führt direkt zu Vestas.

Vestas, Nordtank, Smedemestrene u.A. bauen alle bald danach ihre allererste Windmühlenproduktion nach dem gleichen Muster mit Økærs 5-Meter-Flügel, der ein hervorragender Erfolg wurde. Es war das beste, das man damals kaufen konnte. Er fand Anwendung an Mühlen in der 15 bis 30 kW-Klasse mit Leistung abhängig von der gewählten Umdrehungszahl. In einigen Fällen gab es ernste Havarien mit den Økær-Flügeln, wenn die mechanischen Bremsen versagten. Denn anfangs fehlte ihnen die Luftbremse. Die Geschichte der Luftbremse muß in anderem Zusammenhang erzählt werden.

Nun lag das Flügelkonzept fest. Danach geht es um Detailverbesserungen und um Aufbau von Produktionskapazität. Schon 1980 zieht Økær Vindenergi nach Mønsted, und ein Jahr danach wird eine Lizenzabsprache mit einem größeren Glasfaserunternehmen, Coronet Boats in Slagelse eingegangen. Das Branding wird neu. In dem nordischen Katalog über Windmühlen von 1983 hat der gleiche Flügel drei verschiedene Namen: *Aerostar*, *Coronet* und *Alternegy*.

Anfang 1980 öffnet sich der Californische Markt, der alles abnehmen kann, was geliefert werden kann. Obgleich es viele Windmühlenproduzenten gab, von denen viele klein waren, gab es Massenproduktion, wenn es um Flügel geht, von denen wurden tausende

produziert. Wegen der großen Nachfrage lagerte Alternegy einen Teil der Flügelproduktion aus bei einer Reihe von Glasfaserlieferanten. Aber es gab Probleme mit der Qualitätssteuerung. Es gab eine ernste Havarie an einer 55 kW Windmühle in Hinnerup, und das bewirkte, daß der Großabnehmer *Vestas* beschließt, die Flügel von 16 ihrer 55kW Windmühlen auszutauschen und für die Flügelproduktion insourcing vorzunehmen. Das geschah jedoch nicht vom einen Tag auf den nächsten; es dauert, neue Flügel zu entwickeln und einen neuen Produktionsapparat aufzubauen. Deshalb wird Vestas seine Eigenproduktion mit Flügeln von Aerostar bis 1986 ergänzen.

Erik Grove Nielsen zeigte ein ausgeprägtes Talent für Innovation und entwickelt in der Regie von *Aeroform* ein ganzes Repertoire von Flügeln von 2,5 Meter an nach oben. Besonders der 7,4 Meter Flügel ist ein Renner. Er befand sich an den äußerst Populären 55kW Mühlen von 1980 an und in folgenden Jahren, die den Weg für die moderne Windenergie ebneten und der Industrie eine goldene Nase bescherte. Später folgte dann die Entwicklung noch größerer Flügel mit 9, 10, 11 und 12 Metern Länge. Die Entwicklung und Erprobung verblieb in der Heimat, wo Erik Grove Nielsen ein beeindruckendes Prüfzentrum in *Sparkær* baute, im Grunde eine Aufgabe der öffentlichen Hand. Erst 10 Jahre später kauft das staatliche Risø das Zentrum, nachdem es dieses einige Jahre gemietet hatte. Das war das Serviceorgan Dänemarks für die Windindustrie, bis man im Jahre 2006 eine viel größere Anlage am Hafen von Aalborg eröffnet.

Mit dem 12-Meter Flügel von Alternegy von 1986 war es vorbei. Es wurden nur noch wenige von ihnen hergestellt. Dieser Flügel wird in Vitsø auf Ærø an einer 200 kW *Dencon*-Windmühle laufen, die das Folkecenter konstruiert hatte. Es gab mit diesem Flügel keine Qualitätsprobleme. Er läuft immer noch, 20 Jahre später, aber die Krise in der Windmühlenindustrie war total mit dem Wegbrechen des amerikanischen Marktes. Alle Windmühlenfabriken außer Bonus gingen konkurs, deshalb waren keine Kräfte vorhanden, um neue Generationen von Windmühlen zu entwickeln. nun gab es auch neue Flügelproduzenten, die bei Zeiten für eine effektive Qualitätskontrolle gesorgt hatten. Die Produktion von Flügeln hatte sich zu einem reifen industriellen Sektor entwickelt, in dem es Routine wurde, neue Fabriken zu errichten samt immer größere, leichtere und effektivere Flügel zu entwickeln.

Im Laufe der 1980er Jahre werden die dänischen Standardflügel auch Grundlage einer allmählich sehr erfolgreichen deutschen Windmühlenindustrie. Unternehmen wie *Tacke* und *Enercon* kommen -im Gegensatz zu den Mastodont Projekten GROWIAN und MBB's Monopterus - gut aus den Startlöchern. Sie verwendeten dänische Sublieferanten zur Windmühlenindustrie, von denen die Flügel die größten Teile darstellen. Inzwischen ist ein Unternehmen wie Enercon dazu übergegangen, selbst Flügel zu entwickeln und zu produzieren. Die Tradition der Komponentenwindmühle wird von *Repower* weitergeführt, die den neusten Flügel von LM mit 61 Metern Länge für die größte Windmühle der Welt, 5 MW, benutzt.

LM - der Mastodont der Flügel.

LM in Lunderskov tritt sehr diskret als Windmühlenflügellieferant im Jahre 1982 ein. Die Grundlage war Erfahrungen vieler Jahre mit Glasfaser als Industrieprodukt - eine Basis, die sich ebenso wichtig erweisen sollte wie das Wissen über Windmühlen. Man beginnt vorsichtig mit 7,5 und 8 Meter- Flügel, die im Großen und Ganzen austauschbar sind mit dem damals dominierenden Flügelprodukt. Man findet die ersten LM Flügel an der 55 und 75 kW Windmatik-Mühle, die aufgegeben hatte mit den versteiften Hybridflügeln aus einem Holzverbund-Balken mit Glasfaserschalen. Sie stammten von der Zusammenarbeit mit Chr. Riisager. man findet auch damals einen 3,5 Meter Flügel von LM an *Wind-Matics Folkemølle* mit 7,5 kW. LM passt sich der Situation des Kunden an und liefert auch verschiedene Größen von geklonter Flügelschalen in Riisager-Bauweise an *Sonebjerg Maskinfabrik*.

Dann ging es Schlag auf Schlag für LM. Die Flügel wuchsen in der Größe und 1986 kann man 11 Meter-Flügel für 150 kW-Windmühlen liefern. Die findet man an Windmühlen wie *Bonus, Vindsysse* u. A. Das besondere an den LM-Flügeln damals war, daß sie für Linkslauf konzipiert waren. Sie hatten Luftbremsen des Spoilertyps an der Rückseite des Flügels, während die anderen sich im Uhrzeigersinn drehten und Flügelspitzenbremsen wie die Gedser-Mühle hatten.

Aber LM ergab sich. Die Spoiler verschwanden, und die Öffentlichkeit konnte auf die Dauer nicht tolerieren, daß die Windmühlenflügel in verschiedene Richtungen liefen. Von 1988 an stellte LM deshalb Flügel her, die im Uhrzeigersinn drehten. Geschichtlich gesehen ist das die falsche Richtung, denn die Windmühlenflügel aus Holz drehten links herum, weil die natürliche Verwindung des Holzes von dem Gang der Sonne über den Himmel vom Osten nach Westen vorbestimmt war.

Von den schlechten Erfahrungen anderer Hersteller mit Glasfaserflügeln belehrt baute LM enorm solide Flügel. Die Norm der Behörden für statische Belastung war 30 Kp (Kilopond pro Quadratmeter Rotorfläche), eine Zahl die von der Gedsermühle übernommen wurde. Wie wir gesehen haben konnten damit jedoch Unfälle vorkommen. LM wollte sicher gehen, und heute drehen sich eine Menge 8,0 Meter-Flügel von LM an alten 75 kW-Windmühlen, die eine berechnete Laufzeit von 70 Jahren haben! Die Dimensionierung änderte sich jedoch später zu einer realistischeren Lebenszeit.

Als unabhängiger Flügellieferant war es für LM wichtig, Dokumentation für Leistung und Betriebseigenschaften zu haben, wenn man den vielen Windmühlenfabriken einen neuen Flügeltyp anbieten sollte. Die wollen gemessene Ergebnisse und nicht berechnete Leistung sehen. Da Risø Prüfungen und Genehmigungen nur für die Windmühle, jedoch nicht für einen Bauteil wie z.B. den Flügel machte, brachte das LM in die unangenehme Situation, daß der erste Kunde viele Betriebsdaten hatte, die für LM heimlich waren. Das waren groteske Verhältnisse, die mit sich führten, dass *Styregrupper for Vedvarende Energi* LM einen besonderen Zuschuß verschafften, damit LM eigene Prüfergebnisse erarbeiten konnte, damit der Flügelproduzent selber wußte, was er den Windmühlenfabriken verkaufte.

Ende der neunzehnhundertachtziger Jahre waren die dänischen Windmühlenfabriken stark durch den Einbruch des amerikanischen Marktes geschwächt und warteten damit, neue größere Windmühlen zu entwickeln. Aber bei LM war man bereit zu dem nächsten Schritt, bei dem die Windmühlengröße von 200/300 kW auf 500 kW sprang. Das führte zu einer Zusammenarbeit mit dem Folkecenter über Spezifikationen und Erprobung neuer Flügel. Hier hatte man ja keine Motive für die Rückhaltung von Ergebnissen und Daten.

Somit wurden die Spezifikationen des 17,2 Meter-Flügels durch ein 500 kW-Projekt bestimmt, für das das Folkecenter und die deutsche Windmühlenfabrik Tacke gemeinsam Gelder in Bruxelles geholt hatten. Das waren 1991 Riesenmühlen, eine Größe, für die die ganze Branche bald darauf mit voller Dokumentation auf Flügel von LM, liefern konnte. Wieder einmal hatte die dänische Industrie Glück, denn gerade zu der Zeit führte man in Deutschland die progressivste Gesetzgebung für nachhaltige Energie in der Welt ein und bekam damit die Hälfte aller Windmühlen in Europa.

Überhaupt hat eine Flügelfabrik wie LM weit mehr als die eigentlichen Windmühlenfabriken den Takt für das Wachstum der Windmühlengröße angegeben. Sie konnten somit keine größeren Mühlen bauen als die, deren Größe die Flügelfabriken im Programm hatten. Wo also die Windmühlenproduzenten den Bedarf hätten, sich zu konsolidieren um eine passend lange Produktionsserie eines bestimmten Typs zu haben, zwang das Erscheinen eines neuen größeren Flügels die einzelne Windmühlenfabrik auf den fahrenden Wagen zu springen. Wenn erst ein neuer Produzent mit einer neuen größeren Mühle auf dem Markt auftauchte, waren die anderen gezwungen, in der Größe mitzuhalten um nicht Marktanteile zu verlieren. Es ist die Unerbittlichkeit des Wettbewerbs, über die auch die starke dänische Windmühlenindustrie nicht Herr ist. Wartet eine dänische Windmühlenfabrik damit, einen neuen Flügeltyp einzuführen, dann läuft er plötzlich bei einem ausländischen Konkurrenten. LM schildert, daß man jedes Jahr 5 bis 7 neue Flügeltypen pro Jahr entwickelt, wohingegen eine Windmühlenfabrik mit eigener Flügelproduktion höchstens einen neuen Flügeltyp jedes zweite Jahr lanciert. Das ist die Dynamik in einer Branche, die erneuerbare Energie zur Energiequelle der Zukunft gemacht hat.

LM ist der größte Produzent von Windmühlenflügel mit sieben Fabriken in fünf Ländern. 70% der Flügel werden außerhalb Europas verkauft, das vorher den weit wichtigsten Markt darstellte. Es war LM, die im Herbst 2004 erneut einen Rekord aufstellte mit der Lieferung eines Flügels von 61,5 Metern für eine 5 MW deutsche Repower Windmühle, die an der Elbemündung aufgestellt wurde. Zum Jahrtausendwechsel hatte LM 40.000 Flügel mit mehr als 15 Längen produziert. Bis zur Länge von 24 Metern wuchs jede neue Generation mit einem Meter, aber in den späten 1990igern, in denen die Megawindmühlen ihren Durchbruch hatten, werden mehrere Meter zu jedem neuen

Flügeltyp gelegt. Aber LM muß sich immer anstrengen, denn es müssen neue Kunden für die Verlorenen gefunden werden. Wenn eine Windmühlenfabrik eine gewisse Größe erreicht hat, ist die Tendenz, daß sie eine eigene Flügelproduktion anfängt, was bei Bonus und NEG Micon nahestehende Beispiele abgeben.

LM hat eine Fabrikation von Flügeln in vielen Größen. Sie sind so groß geworden, daß der Transport schwierig und teuer wird. Das ist ein Grund dafür, daß man die Flügel im Aufstellungsland herstellt, wenn der Markt groß genug dafür ist, eine lokale Produktion zu beginnen. Oft ist es auch eine Forderung, daß ein Teil des Wertes der Windmühle lokal hergestellt wird.

Dass LM dann mit seinen globalen Aktivitäten das dänische Windmühlenkonzept in viele Länder bringt und neue Konkurrenten für die dänischen Windmühlenfabriken schafft, ist ein Teil der harten Bedingungen des Wettbewerbs. Für einen ausländischen Windmühlenhersteller ist es dagegen eine starke Karte, damit reklamieren zu können, daß die Flügel, der Hauptteil von LM stammt.

LM ist schon Lieferant für eine lange Reihe von Windmühlenfabriken über die ganze Welt. Sie sind von einem Lieferanten wie LM abhängig, wie LM auch interessiert ist, daß es viele Abnehmer ihrer Flügel gibt, die ein unbeachteter aber wichtiger Teil des dänischen Windmühlenerfolgs ist. Von der Flügelfabrik von LM in Baoding in China wird man mit großer Sicherheit in den kommenden Jahren Flügel an Windmühlen chinesischer Herkunft sehen, die in den kommenden Jahren harte Konkurrenten der westeuropäischen Industrie werden können.

Vestas will selber Flügel bauen.

Es gehört zu der Geschichte, daß *Vestas* als einer der ersten Benutzer von den Flügeln von Økær- wie erwähnt- ungefähr 1981 sich nach einer Pechsträhne mit Flügeln in einer schwierigen Lage fühlte. Das Unternehmen zog daraus die Konsequenz, eine eigene Flügelproduktion zu beginnen. mit eigenem Design, Flügelwurzel, u.s.w., erzählt Birger T. Madsen, damals Direktor von Vestas. Aber es dauerte lange für Vestas, selbstversorgend mit Flügeln zu werden, und die letzten 7,4 Meter--Flügel werden so

spät wie 1986 geliefert. Seitdem ist Vestas selbstversorgend mit Flügeln für eigene Windmühlen.

Vestas machte den Anfang nach dem Anlauf mehrerer Jahre mit einem 7,5 Meter Glasfaserflügel für die 55 kW Windmühle, die später in zwei Stufen mit extremen Flügelverlängerer versehen wurden. Das war kein schöner Anblick. Ihnen fehlten Flügel für die 75 und 90 kW-Mühlen. Deshalb bekam der 7,5 Meter-Flügel „Stelzen“. Seitdem war Vestas immer in vorderster Reihe hinsichtlich Flügeldesign und fortschrittlicher Produktionstechnologie. Im Mai 2000 war die Einweihung einer neuen großen Flügelfabrik in Nakskov. Sie liegt auf dem alten Werftgelände, von der es bequem ist, die sehr langen Flügel zu den off-shore-Windmühlenparks der Zukunft zu liefern. Man startete in Nakskov mit Flügeln, die 32 Meter lang waren. Aber die Windmühlen der Zukunft verlangen immer größere Flügel. Der Typ V100 hat einen Rotordurchmesser von 100 Metern, und mit der Übernahme von NEG Micon erwar Vestas auch eine Flügelfabrik auf der Isle of Wight. Hier hat man sich auf Holz-komposit Flügel spezialisiert, die in der Prøvestation Høvsøre getestet werden. Im Jahre 2009 wird sie auf den Markt gebracht mit einem 120 Meter Rotor. Zu der Zeit wird Vestas fast das Niveau der Windmühlen haben, die in Deutschland 2004 mit LM-Flügeln aufgestellt wurden. Vestas hat auch eine Flügelfabrik in der früheren DDR gebaut, von der aus sie den deutschen und zentraleuropäischen Markt versorgen können. Auch in China baut man eine Flügelfabrik in Tianjin, mit der man der chinesische Forderung nach 70% Lokalproduktion nachkommt. obwohl Vestas prinzipiell nur Flügel eigenen Fabrikats verwendet, kaufte man doch im Jahre 2004 Flügel bei LM für einen Windpark mit 80 Windmühlen in Indien und für 71 Windmühlen in China.

Eine Flügelfabrik auf Sjælland

Aber auch andere versuchten ihr Glück in den 1980igern als Lieferanten für Glasfaserflügel. Micon war während des amerikanischen Booms groß gewachsen und verbündete sich mit *Ole Larsen* in Ringsted und *Helge Petersen*, um eine Serie von Flügeln herzustellen. Die Allianz unter dem Namen *MAT, Micon Airfoil Technology* war an sich logisch. Micon brauchte dringend die Flügel; Ole Larsen war berühmt für Glasfaserarbeit mit hoher Qualität für die großen Windmühlen der Elektrizitätswerke;

und Helge Petersen war Teilnehmer der großen Reise als Flügelkonstrukteur bei F.L. Smidth während des 2. Weltkriegs über Tvind und DWT, *Danish Wind Technology*. Daß die Lizenzproduktion der Flügel in Ägypten in Aussicht gestellt war, schärfte den Appetit.

Die Flügel waren vom Standardtyp und aerodynamisch und hinsichtlich der Stärke in Ordnung. Das Finish war perfekt, aber unglücklicherweise wählte man eine untraditionelle Luftbremse. Statt der wohlbekannteren Drehspitze kam man auf die problematische Idee, Fallschirme zu benutzen, die aus einer Luke in der Flügelspitze herausgeschleudert wurden, wenn notgebremst werden muß. Selbstredend ist es problematisch, so ein Stoffbündel wieder geordnet in den Flügel für die nächste Auslösung zu bringen. So wird ein Windmühlenkäufer denken. MAT verschwand denn auch wieder vom Markt, aber ist ein gutes Beispiel dafür, wie ein übrigens ausgezeichnetes Produkt wegen einer Fehleinschätzung eines Details wie die Luftbremse in die Vergessenheit der Geschichte verschwindet. Heute kann man die Produktionsformen und Flügel als Museumsstücke im Folkecenter betrachten. NEG Micon und Bonus werden Flügelproduzenten.

Dieses bewirkte jedoch nicht, daß Micon später NEG Micon die Ambitionen aufgab, selber Flügel zum Eigenbedarf herzustellen. In der Zeit um 1998 war das Unternehmen bestrebt, so viel wie irgend möglich einzusourcen. Vestas baute wie beschrieben selber Flügel, aber an allen anderen dänischen Windmühlen holten LM-Flügel die Kraft des Windes an den Generator.

Es hatte vereinzelt Anfänge vom Kauf ausländischer Flügel gegeben, aber zur Jahrtausendwende begannen die wichtigsten dänischen Windmühlenfabriken, NEG Micon und Bonus, wie Vestas, die Flügel selber herzustellen. Zum einen wollte man nicht zu 100% abhängig von einem Sublieferanten werden, zum anderen war es wichtig geworden, selber die ganze Produktionstechnologie zu beherrschen, also auch die Flügelherstellung, wenn man auf ausländischen Märkten verkaufen will. Es kann eine Forderung sein, daß 50% oder mehr des Wertes der Windmühle aus lokaler Produktion stammt. Diese neue Marktstrategie bekam zur Folge, daß NEG Micon im Jahre 1998 eine

Flügel fabrik auf der Isle of Wight kaufte, die nun ein Teil des Vestas-konzerns ist, und daß Bonus eine ganz neue Flügel fabrik in Ålborg baute. Hier stellt man Flügel für seine Megawattmühlen her, mit einem avancierten Design in einem Stück gegossen ohne die bisherigen Nähte. Nachdem Siemens Bonus übernommen hat, wird mitgeteilt, dass eine große Ausweitung in Ålborg stattfinden sollte, die außerdem mit dem neuen Testzentrum für Flügel ein Mekka der Windmühlenflügel darstellen.

Auch Flügel für kleine Windmühlen

Kleine Mühlen haben auch ein Anrecht, waren die Produktionsphilosophie bei *KJ Glasfiber* in Vadum nördlich von Aalborg. Da der Markt sich in den 1980iger Jahren immer größeren Mühlen zuwandte, gab es eine Nische für 4,0 und 5,0 Meter-Flügel an Mühlen von 11 bis 22 kW. KJ hatte die Erfahrung von der Glasfaserbootsherstellung und hatte eine besondere Technik für die Herstellung von Glasfaserflügeln, die man eleganter als andere Hersteller zusammenfügen konnte. Der KJ-Flügel hatte eine gewöhnliche Drehflügelspitze, jedoch die Flügelwurzel war etwas ganz neues. Statt des bekannten Hütter Bolzenflansch, die die anderen brauchten, hatte der KJ-Flügel einen langen glatten Schaft, der eine besondere Ausformung der Nabe verlangte. Aber das Produkt war in Ordnung und wurde in vielen Windmühlen verwendet wie *Kuriant*, *Bosted*, *Smedemestermøllen*, *Reymo*, *Fasterholt*, *Kramsbjerg* u.A. KJ getraute sich später auf den Markt für Flügel für 55 kW-Mühlen, hatte aber keinen Erfolg, und danach verschwand der Produzent von der Bildfläche.

Es gibt auch einen Markt für noch kleinere Windmühlen, und hier hat Søren Olsen, *Olsen Wings*, aus Hundslund in Ostjütland einen Pioniereinsatz geleistet. Søren Olsen hat die ganze Fahrt durch die dänische Windmühlenentwicklung mitgemacht; er war Mitglied der Gruppe, die die einflügelige Folkemølle entwickelte. Das wichtigste Produkt von Olsen Wings ist ein 3.3Meter Glasfaserflügel mit Drehspitze für Mühlen mit 5 bis 12 kW. Der Flügel fand Verwendung an verschiedenen Typen Gaia-Mühlen und an Versuchsmühlen bei Risø und dem Folkecenter, aber sie erreichten nie einen eigentlichen Durchbruch für diese Kategorie der Windmühlen, an denen ein großer Bedarf ist. Es gibt alleine in Dänemark tausende geeignete Aufstellungsflächen für Einzelhausmühlen in dem offenen Land, aber die Planungs- und bürokratischen Behinderungen sind massiv. Statt eine

kleine Windmühle zu kaufen um den Bedarf eines Haushalts an Elektrizität zu decken, ist der umweltbewußte Bürger darauf angewiesen, sich Solarzellen zu besorgen, die immer teureren Strom erzeugen als eine kleine Windmühle. Aber auf dem Feld existiert die freie Wahl der Produkte nicht.

Olsen Wings entwickelte auch im Jahr 2001 einen 5-Meter -Flügel mit einem avancierten design. Dieser Flügel wurde an einen Prototyp einer 22 kW-Windmühle auf dem Folkecenter montiert. Hier sollte auch die Jungfernfahrt stattfinden und der Flügel getestet werden. Übrigens an einer Versuchsmühle, die 25 Jahre früher dazu benutzt wurde, um Økærs bahnbrechende 5Meter-Flügel zu testen. Olsen Wings hat seinen Teil der Aufgabe beigetragen, aber im Jahre 2002 wurde der Versuch eingestellt. Dänemark hat eine neue Regierung bekommen, die bei Ihrem Antritt erklärt, daß „ das wissen über erneuerbare Energie hinreichend ist.“ Die Erprobung des 5-Meter Flügels ist auf stand-by gesetzt, bis Dänemark seine Energiepolitik ändert und seriös die Umstellung von fossilen Brennstoffen zur erneuerbaren Energie anfängt.

Litteratur:

Proceedings of the United Nations Conference ob new sources of Energy. Rome, 21-31 August 1961. Volume 7, Wind Power. United Nations, New York 1964

Ejvin Beuse, Jørgen Boldt, Preben Maegaard, Niels I.Meyer, Jens Windeleff, Iben Østergaard: Vedvarende energi i Danmark. OVEs Forlag, 2000

Nasir el Bassam & Preben Maegaard: Integrated Renewable Energy for Rural Communities. ELSEVIER, Amsterdam and London, 2004