



UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1. Verbreitete Sicht des Größenwachstums	3
2. Ähnlichkeitsgesetze und Beispiele	4
2.1. Ähnlichkeitstheorie.....	4
2.2. Beispiel aus der Praxis	5
2.3. Größenwachstum und technische Fortschritte	6
2.4. Vergrößerung von Windkraftanlagen	7
2.5. Anwachsen der Spannungen aus Masse durch Vergrößerung	8
2.6. Vergrößerung in Theorie und Praxis.....	9
2.7. Entwicklung der Enercon – Anlagen	10
3. Aber die DEWI – Daten?	12
3.1. Eine andere Interpretation der Daten.....	12
4. Das Multiturbinen – Konzept	13
4.1. Verkleinerung und Multiturbine	13
4.2. Technische Daten Multiturbine	14
4.3. Verfügbarkeit.....	14
4.4. Vergleich Multiturbine mit Einzelturbine.....	15
4.5. Bereits ausgeführte Entwicklungsarbeiten.....	15
5. Kostenabschätzung.....	17
5.1. Kostenvergleich	17
6. Fazit.....	17
7. Autoren.....	17
8. Quellen	18



UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

Zusammenfassung

Über die letzten Jahre war die Windenergietechnik durch kontinuierliches Größenwachstum gekennzeichnet. Zur Zeit gelten Windkraftanlagen mit einem Rotordurchmesser von 80 m und einer Nennleistung von 2,5 MW als Marktstandard. Verschiedene Anlagenhersteller arbeiten bereits an gigantischen Prototypen mit Rotordurchmessern über 100 m und Nennleistungen von 5 MW. Diese Größenordnung scheint notwendig zu sein, um die Rentabilität von Off-Shore-Windparks zu gewährleisten.

Dieses kontinuierliche Größenwachstum wird von der Forschungsgruppe Windenergie an der HTW in Frage gestellt. Ausgehend von den theoretischen Grundlagen wird gezeigt, daß mit dem Größenwachstum die Massen und damit die Kosten der Anlagen schneller steigen als der Energieertrag. Dies wird durch Beispiele aus der Praxis belegt. Schließlich wird der Entwurf einer Multiturbine vorgestellt, d. h. eines Windkraftwerkes mit mehreren Rotoren auf einem Turm. Nach Ansicht der Forschungsgruppe Windenergie macht dieser Ansatz weit mehr wirtschaftlichen Sinn als jedes weitere Größenwachstum von Windenergieanlagen.



UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

1. Verbreitete Sicht des Größenwachstums

Folgendes Diagramm zeigt das Massen – Rotorflächenverhältnis von Windkraftanlagen innerhalb eines Rotordurchmesserbereichs von 20 bis 80 m. Dieses Verhältnis wurde in [1] vom DEWI (Deutsches Windenergieinstitut) als der Quotient der Turmkopfmasse (Maschinenhaus plus Rotormasse) und der überstrichenen Rotorfläche definiert. Wegen der Kombination von Kosten (Masse) und Energieertrag (Rotorfläche) kann dieses Massen-Flächen-Verhältnis als Vergleichsvariable für die „Intelligenz“ einer Windkraftanlagenkonstruktion dienen. Sie repräsentiert effektiveren Materialeinsatz.

Vom DEWI wurde für alle Datenpunkte (jeder repräsentiert eine Windkraftanlage) eine lineare Regression durchgeführt. Resultat ist eine horizontale Tendenz für das Massen-Flächen-Verhältnis bei etwa 22 kg/m^2 .

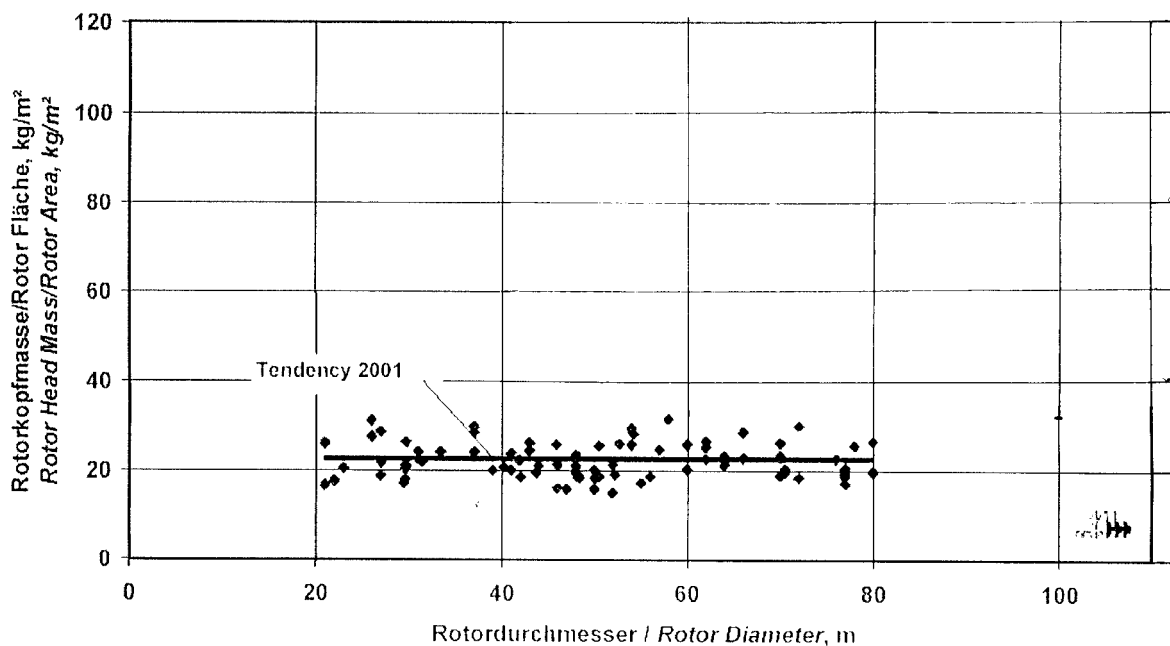


Bild 1: Massen – Flächen – Verhältnis von Windturbinen

UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

2. Ähnlichkeitsgesetze und Beispiele

2.1. Ähnlichkeitstheorie

Verdoppelt man alle Abmessungen einer Konstruktion, so vervierfachen sich alle Flächen und verachtfachen sich alle Volumina und Massen. Dies gilt für die Annahme strikter geometrischer Ähnlichkeit, d. h. alle Abmessungen müssen um den selben Faktor vergrößert werden. Das vergrößerte Teil hat dieselbe Gestalt wie sein kleines Modell. Weiterhin wird für beide Teile die Verwendung desselben Materials angenommen. In Bild 2 werden die Ähnlichkeitsgesetze für eine einfache Würfelgeometrie erläutert.

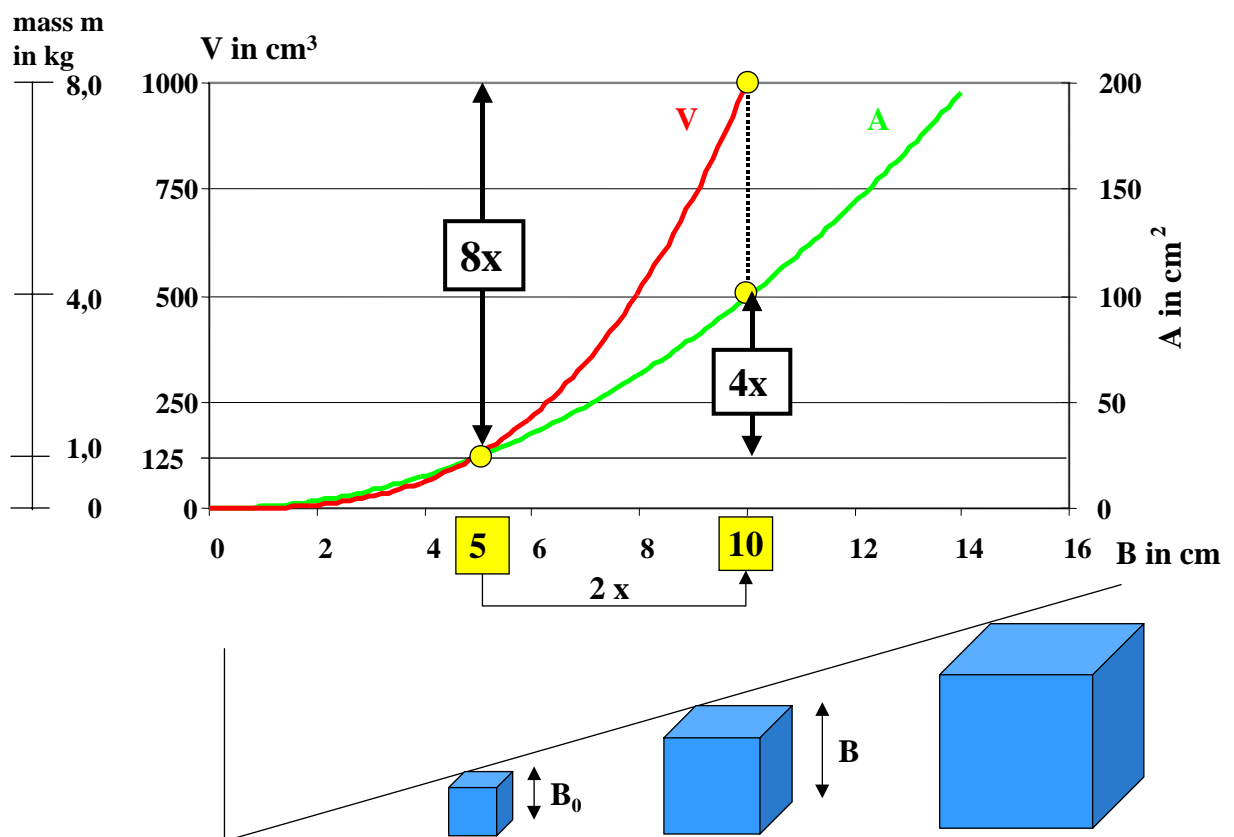


Bild 2: Ähnlichkeitsgesetze

UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

2.2. Beispiel aus der Praxis

In Bild 3 wird die Gültigkeit der Theorie an einem wichtigen Teil der Tragstruktur von Enercon – Windkraftanlagen verifiziert, dem Achszapfen.

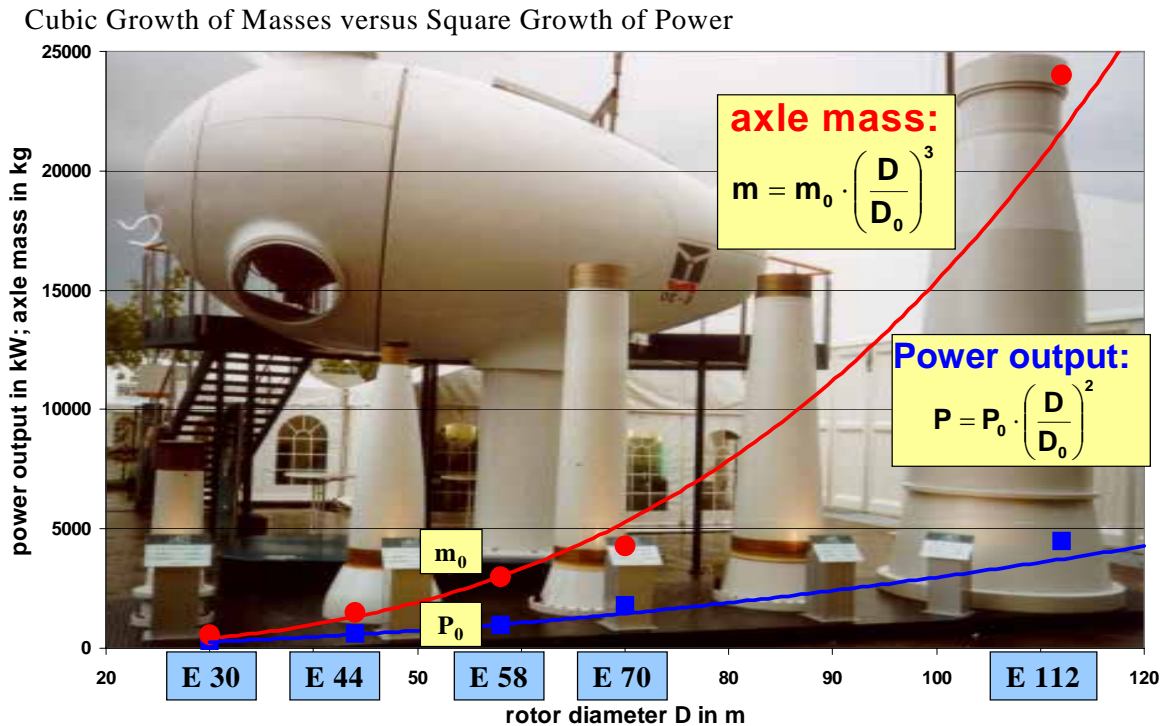


Bild 3: Enercon – Achszapfen

Das Enercon-Produktprogramm ist für eine solche Analyse sehr geeignet, da für alle Anlagengrößen das gleiche bewährte Konstruktionsprinzip verwendet wird. Natürlich ist die Annahme einer strikten geometrischen Ähnlichkeit in diesem Fall nicht möglich, da die Gestalt der Achszapfen leicht variiert. Jedoch sind die Tendenzen in den Wachstumskurven der Masse und des Rotordurchmessers klar sichtbar. Die Daten für beide Kurven wurden von Enercon 2001 publiziert (Siehe Tabelle 1), die Kurven zeigen ein quadratisches Wachstum der Rotorfläche und ein kubisches Wachstum der Achszapfenmasse. Daraus schließt man, daß sich reale Teile tatsächlich gut an die Ähnlichkeitsgesetze anpassen.

Anlage	Rotordurchmesser	Nennleistung	Achszapfenmasse
	in m	in kW	in kg
E 30	30	300	550
E 40/6.44	44	600	1500
E 58	58	1000	3000
E 66/18.70	70	1800	4300
E 112	112	4500	24000

Tabelle I: Daten von Enercon – Achszapfen

UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

2.3. Größenwachstum und technische Fortschritte

Zieht man die erwähnten Ähnlichkeitsgesetze in Betracht, so wird schnell klar, daß einfache geometrische Vergrößerung wirtschaftlich wenig Sinn macht. Jeder Konstrukteur, der eine Maschine vergrößern soll, wird versuchen, Masse einzusparen. Dies kann entweder durch eine raffiniertere Konstruktion, die das Material besser ausnutzt, durch näheres Herangehen an die Festigkeitsgrenzen des Materials oder durch einen Wechsel zu einem besseren (leichteren) Material geschehen. Jedoch muß das neue, leichtere Material ebenso widerstandsfähig wie das alte sein.

In der Praxis wenden Anlagenhersteller eine Kombination aller drei Vorgehensweisen an.

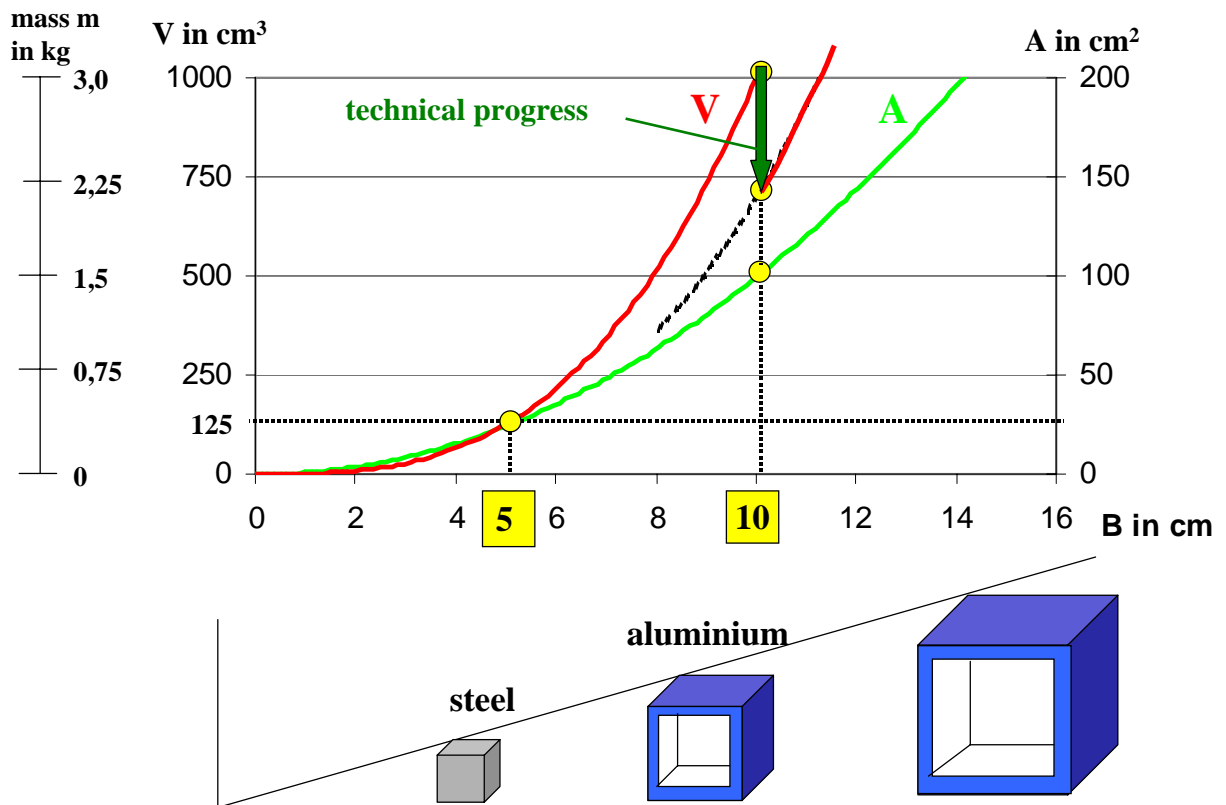


Bild 4: Größenwachstum mit technischem Fortschritt

In Bild 4 wird der technische Fortschritt durch einen Pfeil dargestellt. Technischer Fortschritt setzt hier eine Konstruktion auf ein niedrigeres Massenniveau. Jedoch folgt jede Vergrößerung einer solcherart optimierten Konstruktion wiederum dem kubischen Massenwachstumsgesetz. Somit ist es offensichtlich, daß die Vergrößerungstendenz eine letzte Grenze erreichen wird, wenn die Festigkeitsgrenze des besten verfügbaren Materials erreicht ist.

UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

2.4. Vergrößerung von Windkraftanlagen

Die genannten Gesetze sind auch auf komplizierte technische Installationen wie Windkraftanlagen anwendbar. Alle Hersteller von Windkraftanlagen verwenden viel Entwicklungsarbeit auf Masseneinsparung. Raffinierte Konstruktion und exaktere Lastsimulationen machen es möglich, eine Windturbinenkonstruktion sehr nahe an ihre Materialgrenze zu bringen. Dies wird wiederum durch den Pfeil des technischen Fortschritts in Bild 5 dargestellt.

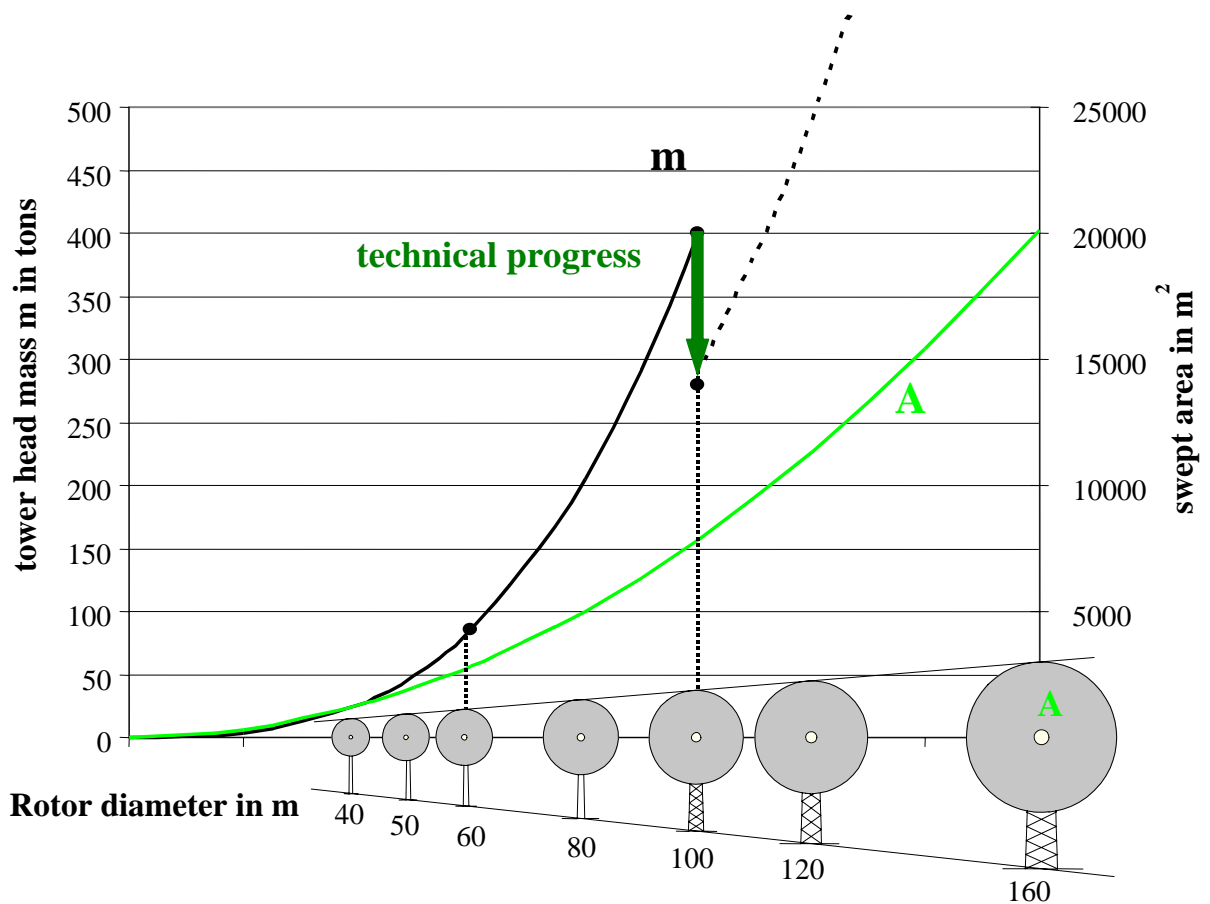


Bild 5: Vergrößerung von Windkraftanlagen

Weiteres Vergrößern der optimierten Maschine folgt wiederum dem kubischen Massen- und Kostenwachstumsgesetz.

UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

2.5. Anwachsen der Spannungen aus Masse durch Vergrößerung

Um das Ganze noch schlimmer zu machen, betrachten wir die durch das Gewicht verursachten mechanischen Spannungen. Die achtfache Masse muß von einer Struktur getragen werden, deren Flächen sich lediglich vervierfacht haben. Definiert man nun die mechanischen Spannungen im weitesten Sinn als (Gewichts-) Kraft pro Fläche, wird schnell klar, daß die Spannungen auf das Doppelte anwachsen, wenn die Struktur nicht zusätzlich verstärkt und somit noch schwerer gemacht wird. Dies bedeutet, daß einfaches Vergrößern eine Konstruktion über ihre Materialgrenze hinaustragen kann.

Es ergibt sich die Notwendigkeit zusätzlicher Verstärkung der vergrößerten Teile. Die Masse m wird damit auf die Masse m_1 vergrößert um die Spannungen von σ auf σ_1 herunter zu bringen. Dies führt zu zusätzlichen Gewichtskräften und zu einem Teufelskreis.

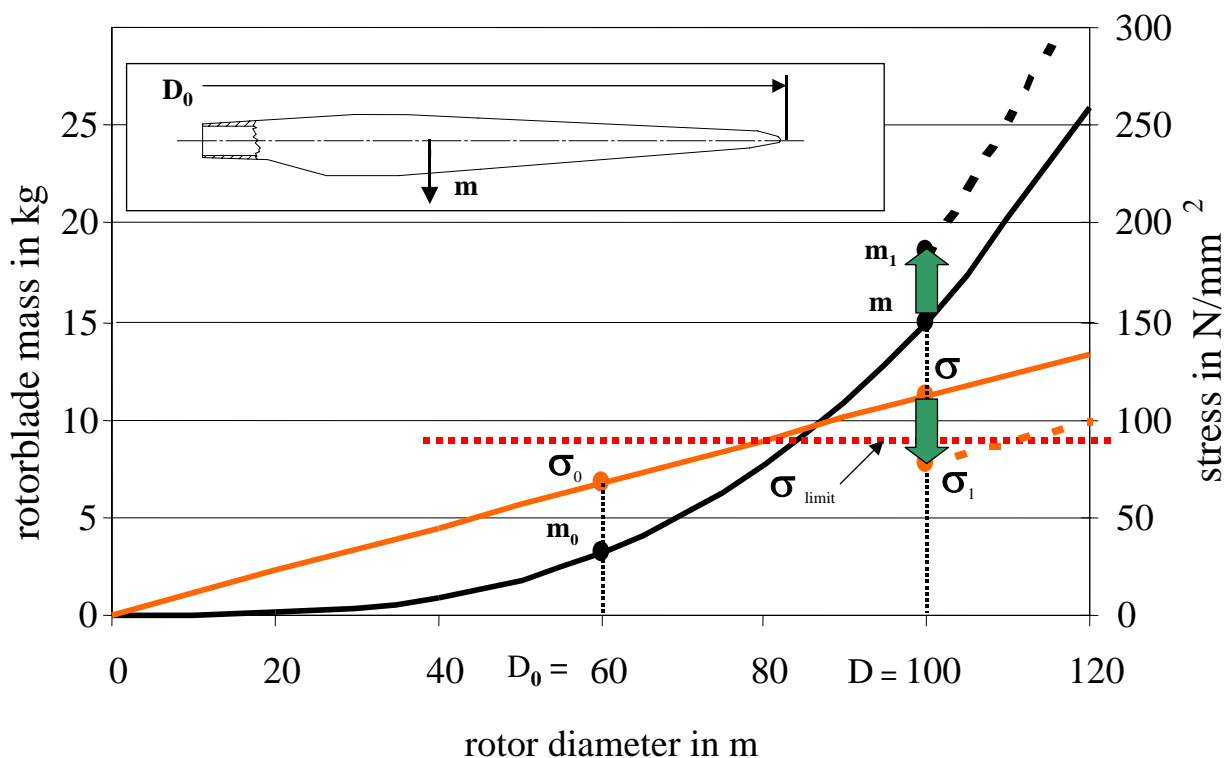


Bild 6: Spannungen aus Gewicht

UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

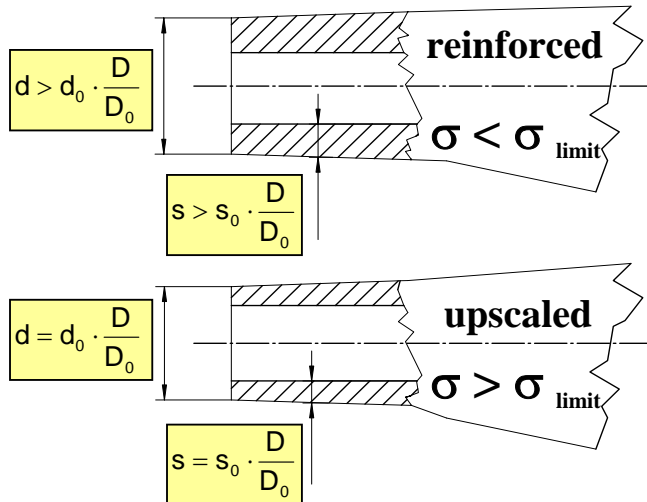


Bild 7: Zusätzliche Verstärkung eines Rotorblattes

In Bild 7 sehen wir das Beispiel eines vergrößerten Rotorblattes. Flanschdurchmesser d und Wanddicke s benötigen nach dem Vergrößern zusätzliche Verstärkung. Anderenfalls wäre das Rotorblatt nicht in der Lage, sein eigenes Gewicht zu tragen. D ist der Rotordurchmesser, während σ die mechanische Spannung bezeichnet. σ_{limit} ist die Spannungsgrenze des Materials. Bäume wachsen nicht in den Himmel, Windturbinen genauso wenig.

2.6. Vergrößerung in Theorie und Praxis

Die Realität entspricht der Theorie, das kann am Beispiel der Enercon – Anlagen verdeutlicht werden.

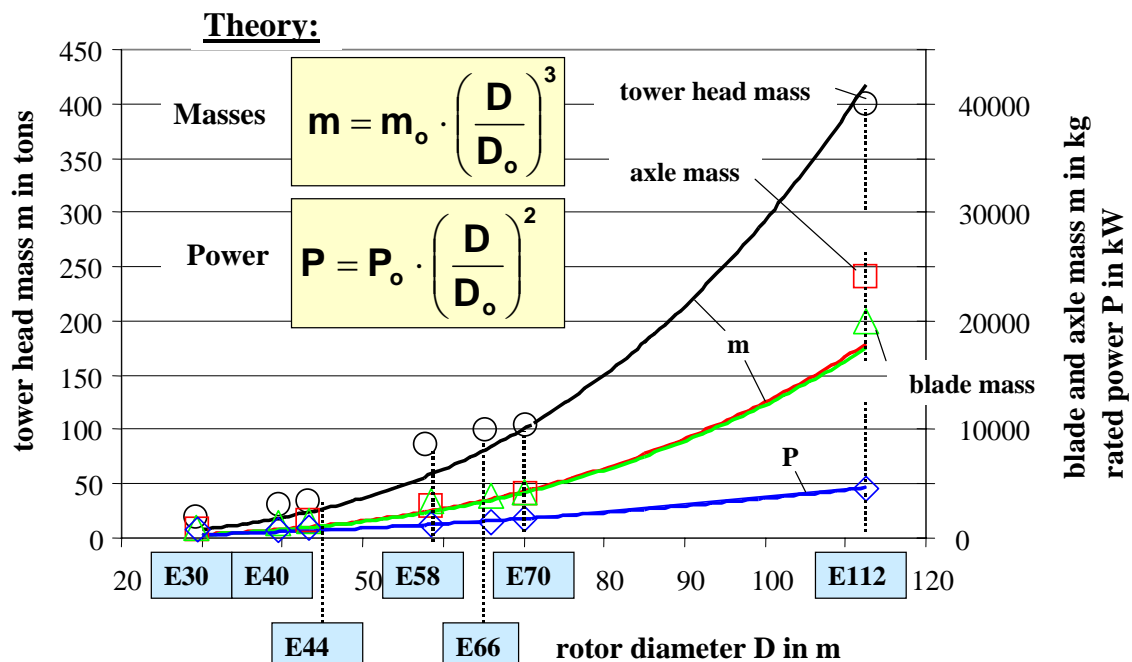


Bild 8: Enercon – Teilmassen

UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

Bild 8 zeigt die Massen von Enercon-Teilen über dem Rotordurchmesser. Die Kurven stellen die Ähnlichkeitsgesetze mit der Enercon E70 (E66 / 18.70) als Startpunkt dar. Betrachtet man die Turmkopfmasse (Maschinenhaus und Rotor), so kann man erkennen, daß die diskreten Datenpunkte sich relativ gut an die theoretische kubische Wachstumskurve anpassen. Die Turmkopfmasse der E112 liegt leicht unterhalb der Kurve.

Für die weiteren Teile (Rotorblatt und Achszapfen) läßt sich eine differierende Tendenz beobachten: Die Punkte passen gut zu den zugehörigen Kurven, mit Ausnahme der E112, deren Teilemassen merklich über der Kurve liegen. Der Grund dafür scheint darin zu liegen, daß Rotorblatt und Achszapfen hauptsächlich durch Eigengewicht belastet sind. Wie bereits oben erwähnt, ist zusätzliche Verstärkung dieser Teile notwendig, was gegenüber der kubischen Massenwachstumskurve zusätzliches Gewicht bedeutet.

2.7. Entwicklung der Enercon – Anlagen

Um den technischen Fortschritt in der Entwicklung von Enercon – Maschinen besser sichtbar zu machen, bedienen wir uns wiederum eines Massen – Flächen – Verhältnisses. Hier wird nun die Maschinenhausmasse durch die Rotorfläche geteilt und mit diesem Quotienten das komplette Enercon-Produktprogramm über einen Rotordurchmesserbereich von 30 bis 112 m verglichen.

Wegen der Division eines kubischen Wachstums (Masse) durch ein quadratisches Wachstum (Fläche) bemerken wir ein lineares Wachstum des Massen-Flächen-Verhältnisses. In der Enercon-Geschichte gab es einige gut dokumentierte Sprünge in der technischen Entwicklung, so z. B. die Weiterentwicklung der E40 / 6.44 aus der alten Enercon E40 und die Entwicklung der Enercon E66 / 18.70 aus der alten Enercon E66. Diese sind in Bild 9 durch Pfeile markiert.

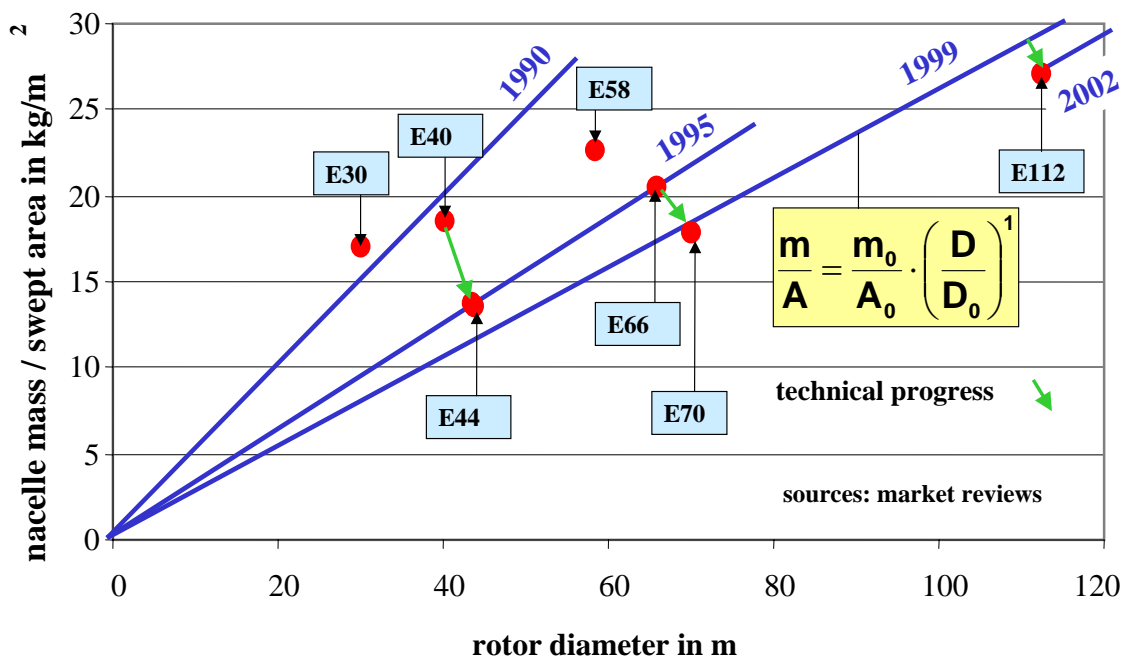


Bild 9: Enercon - Entwicklung



UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

Die vom Ursprung des Diagramms ausgehenden und auf die Datenpunkte der einzelnen Anlagen zielenden Strahlen sind die theoretischen Vergrößerungstendenzen. Die Jahreszahlen geben den Zeitraum an, wann die zugehörigen Turbinen entwickelt und vergrößert wurden.

Allgemein ist ersichtlich, daß die Innovationssprünge kleiner werden. Verglichen mit dem Sprung von der E40 zur E44 sieht der Sprung der Vergrößerungstendenz von 1999 auf die E112 recht bescheiden aus. Dies bedeutet, daß die Materialgrenzen schon erreicht sind. Weiteres Vergrößern der E112 wird sich entlang der mit 2002 beschrifteten Linie bewegen.

Es ist klar geworden, daß beim Vergrößern das Massen – Flächen – Verhältnis sich unter allen Umständen vergrößern muß; solche Tendenz kann niemals horizontal sein

UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

3. Aber die DEWI – Daten?

3.1. Eine andere Interpretation der Daten

Fügen wir den vorhandenen Datenpunkten diejenigen von großen Maschinen wie der General Electric 3.6 offshore oder der E112 hinzu, so sehen wir ein anderes Bild (vgl. Bild 10).

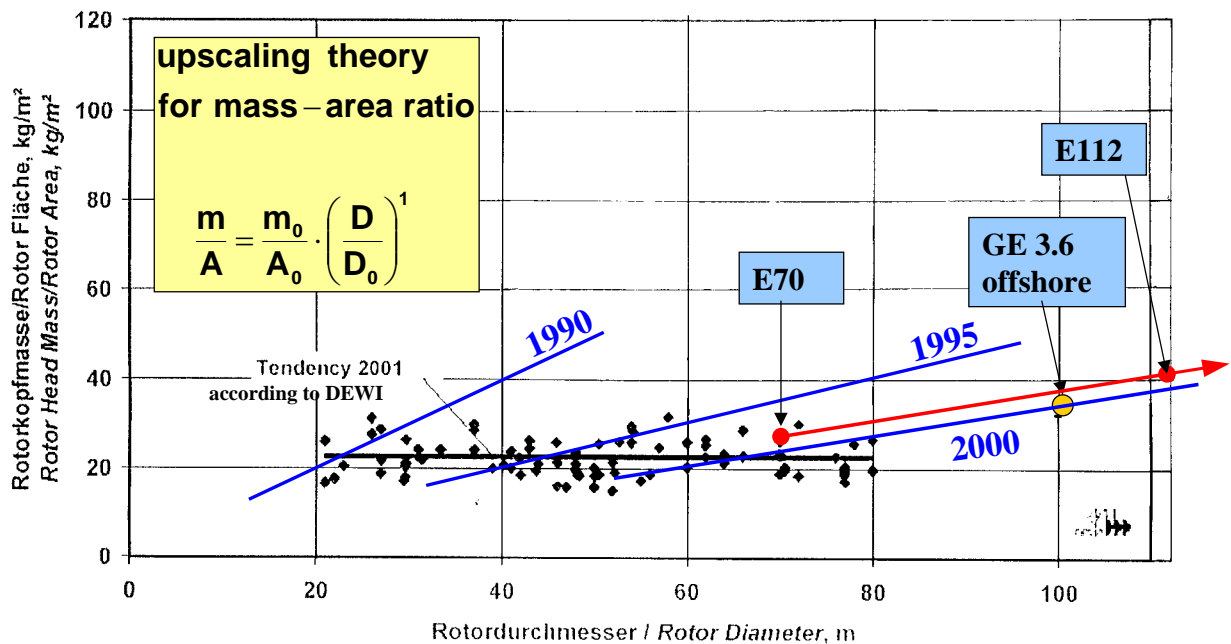


Bild 10: Komplettierte Daten

Es ist direkt erkennbar, daß die Punkte der erwähnten beiden Maschinen deutlich über dem Niveau der Horizontaltendenz von 22 kg/m² liegen. Zumindest wird sich diese Horizontaltendenz in Zukunft nicht fortsetzen.

Weiterhin sollte die Frage erlaubt sein, ob es Sinn macht, Windkraftanlagen innerhalb eines Rotordurchmesserbereichs von 20 bis 80 m miteinander zu vergleichen. Der technische Fortschritt in dem Zeitraum, in dem diese Maschinen entwickelt wurden, ist so groß, daß die kleinen, relativ schweren Anlagen das Wachstum des Massen-Flächen-Verhältnisses bei den größeren Maschinen maskieren. Fügen wir, wie weiter oben schon einmal, Vergrößerungstendenzen den Datenpunkten hinzu, wird das Bild klarer. Die frühen Maschinen sind keinesfalls vergleichbar mit den modernen, weil sie damals noch weit von den Festigkeitsgrenzen des Materials entfernt waren. Teilen wir die Maschinen entsprechend ihrem Entwicklungsdatum in mehrere Gruppen auf, so bemerken wir innerhalb jeder dieser Gruppen eine ansteigende Tendenz für das Massen-Flächen-Verhältnis. Jede weitere Vergrößerung der Rotordurchmesser wird zu einem Anwachsen von Masse, Kosten und Spannungen führen. Somit macht unserer Meinung nach eine weitere Vergrößerung von Windkraftanlagen keinen wirtschaftlichen Sinn.

UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

4. Das Multiturbinen – Konzept

4.1. Verkleinerung und Multiturbine

Eine Alternative ist, eine große Maschine auf einen moderaten Rotordurchmesser zu verkleinern. Somit könnte das Know-how, das in der Konstruktion der großen Maschinen erworben wurde, genutzt werden, um eine wirkliche Leichtbau-Maschine mittlerer Größe zu entwerfen. Die mechanischen Spannungen werden entsprechend den Ähnlichkeitsgesetzen zurückgehen, was zusätzlichen Sicherheitsabstand zu den Materialgrenzwerten bedeutet.

Der nächste Schritt ist dann, vier dieser Leichtbau-Turbinen auf einem Turm zu einer sogenannten Multiturbine zu kombinieren (vgl. Bild 11). Oder detaillierter:

Durch technischen Fortschritt kann die Turmkopfmasse einer Anlage mit einem Rotordurchmesser von 100 m von 400 t auf 280 t verringert werden. Eine Verkleinerung dieser Anlage auf einen Rotordurchmesser von 80 m würde die Turmkopfmasse auf 150 t reduzieren. Vier dieser Turbinen können dieselbe Energiemenge wie eine Turbine mit 160 m Rotordurchmesser erzeugen. Die Turmkopfmasse einer solchen gigantischen Anlage würde bei 1200 t liegen. Dies muß mit der Turmkopfmasse von insgesamt 600 t der vier Turbinen der Multiturbine verglichen werden.

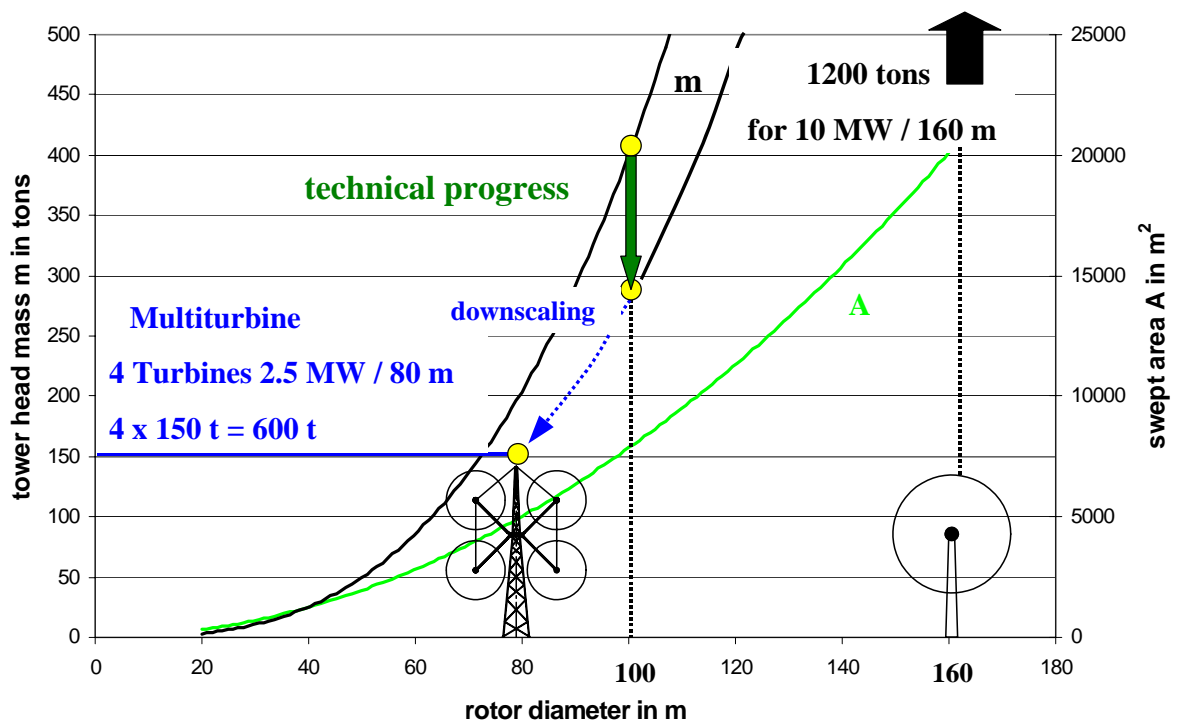


Bild 11: Verkleinerung und Multiturbine

UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

4.2. Technische Daten Multiturbine

Nennleistung	10 MW
Anzahl Rotoren	4
Rotordurchmesser	80 m pro Rotor
Nabenhöhen	70, 155 m
Turmhöhe	200 m
Turm-masse	1000 t
Masse der 4 Ausleger	320 t
Masse Azimutverstell-system	160 t
4 Turbinen (4x 150 t)	600 t
Gesamt-masse	2080 t

Tabelle II: Technische Daten Multiturbine

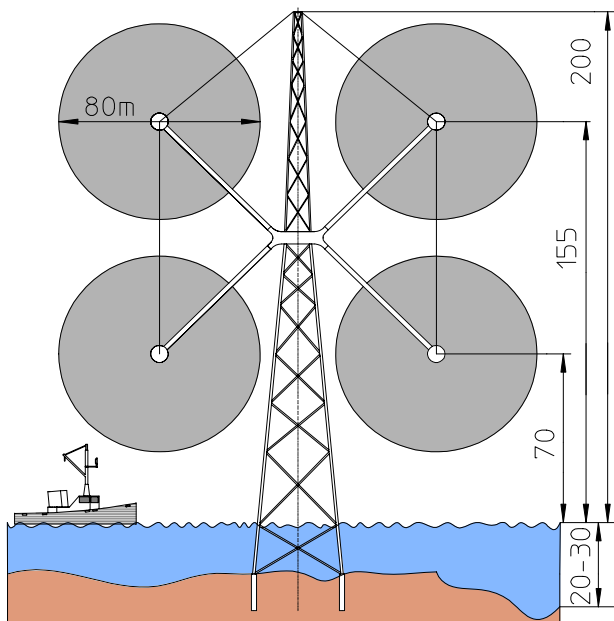


Bild 12: Abmessungen einer 10 MW – Multiturbine

4.3. Verfügbarkeit

Eine Multiturbine sichert eine höhere Verfügbarkeit als eine Einzelturbine, weil der Ausfall einer Maschine die abgegebene Leistung um lediglich 25 % verringert, während ein Ausfall der großen Turbine die Energieproduktion auf Null verringert.

Weiterhin sind für die große Turbine wesentlich längere Stillstandszeiten zu erwarten. Dies hat seinen Grund in der übergroßen Ausrüstung, die zum Austausch defekter Teile benötigt wird. Ein wichtiges Argument für Offshore – Anlagen, wo der Zugang zur Anlage nicht immer gewährleistet ist.



UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

Mögliche Unterschiede in der Verfügbarkeit werden im folgenden Beispiel gezeigt:

Wir nehmen für einen Offshore – Standort 6000 Stunden ausreichender Windbedingungen im Jahr an, weiterhin eine Ausfallzeit von 30 Tagen (720 h) für die große Einzelanlage und eine Ausfallzeit von 20 Tagen (480 h) für eine der vier Maschinen der Multiturbine an. Dies führt zu folgenden Verfügbarkeiten:

	Große Einzelturbine	Multiturbine
Ausfallzeit	30 d (720 h)	20 d (480 h)
Betrieb Turbine #1	5880 h	6120 h
Betrieb Turbine #2	-	6600 h
Betrieb Turbine #3	-	6600 h
Betrieb Turbine #4	-	6600 h
Verfügbarkeit	91 %	98.2 %

Tabelle III: Vergleich der Verfügbarkeiten

4.4. Vergleich Multiturbine mit Einzelturbine

Zusätzlich zu der erwähnten höheren Verfügbarkeit hat die Multiturbine weitere Vorteile.

Ein Rotor mit großem Durchmesser sieht am höchsten Punkt seines überstrichenen Kreises wesentlich höhere Windgeschwindigkeiten als an seinem tiefsten Punkt. Dies hat seine Ursache in den mit der Höhe ansteigenden Windgeschwindigkeiten. Mit steigender Geschwindigkeitsdifferenz steigen die Lasten auf den Rotor an. Weiterhin verursachen übergroße Bauteile Transportprobleme, die benötigte übergroße Krantechnik ist nicht immer verfügbar. Wenn wie an Offshore – Standorten die Wetterbedingungen den Zeitpunkt von Montage- und Reparaturarbeiten diktieren, so ist dies ein großer Nachteil. Schließlich ist es risikoreich, eine Windkraftanlage an ihre Materialgrenze zu bringen. Wenn die Lastannahmen zu optimistisch waren, ist möglicherweise eine sichere 20jährige Betriebsdauer nicht mehr garantiert. Galoppierende Wartungs- und Reparaturkosten können ein Offshore – Projekt schnell in Gefahr bringen. Betrachtet man die Schadensstatistiken bisheriger Windkraftanlagen, so scheint die Schadenshäufigkeit tatsächlich mit dem Rotordurchmesser anzusteigen.

4.5. Bereits ausgeführte Entwicklungsarbeiten

Die Forschungsgruppe Windenergie hat bereits Untersuchungen der Eigenfrequenzen einer 10 MW – Multiturbine (vgl. Bild 13), eine Abschätzung der Windlasten auf Maschinen und Turm und, in Kooperation mit Professor Schaumann von der Universität Hannover, eine Abschätzung der Wellenlasten (vgl. Bild 14) ausgeführt.

Die Ergebnisse sind vielversprechend, die Konstruktion einer Multiturbine scheint realistisch zu sein.

UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

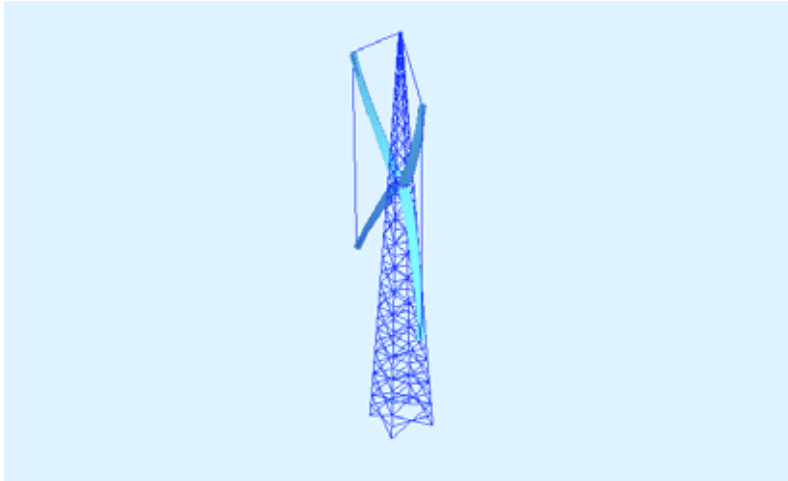


Bild 13: Analyse der Eigenfrequenzen

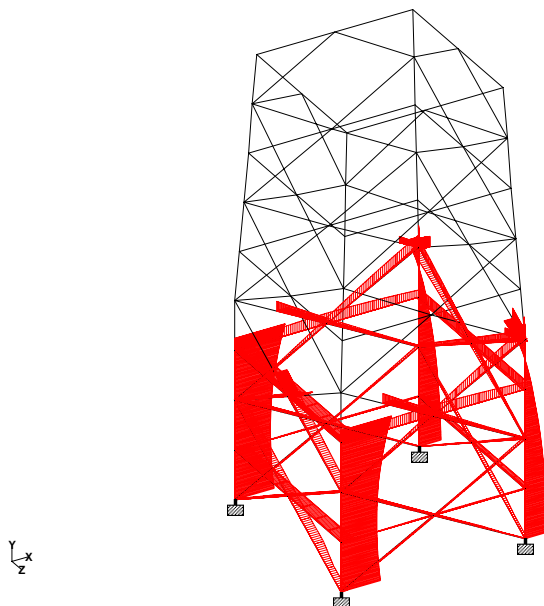


Bild 14: Wellenlastberechnung am Turm



UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

5. Kostenabschätzung

5.1. Kostenvergleich

Detaillierte Kostenbewertungen sind noch in Arbeit. Allgemein kann gesagt werden, daß eine Multiturbine wegen des größeren Turmes mehr Turmmasse als eine große Einzelturbine gleicher Leistung hat. Jedoch betragen die Turmkopfmassen von vier Turbinen mit einem Rotordurchmesser von jeweils 80 m ungefähr die Hälfte derjenigen einer Einzelturbine mit 160 m Rotordurchmesser.

Zieht man weiterhin in Betracht, daß das Kilogramm Turmkopfmasse etwa das Fünffache des Kilogramms Turmmasse kostet, so können für die Multiturbine erhebliche Kostenvorteile erwartet werden.

6. Fazit

Der beste Weg, um die zunehmende Nachfrage nach Windkraftanlagen mit größerer Nennleistung zu befriedigen, ist, auf bewährte Technologie und moderate Maschinengrößen zu setzen und mehrere kleine Maschinen zu Multiturbinen – Einheiten zu kombinieren. Die Forschungsgruppe Windenergie ist gern bereit, mit Anlagenherstellern und Investoren, die an diesem Projekt interessiert sind, in Kontakt zu treten.

7. Autoren

Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger
Fachbereich: Maschinenbau
E-Mail: f.klinger@zip.uni-sb.de
Tel. 049-681-302-6120
Fax 049-681-302-6121

Mitarbeiter

Dipl.-Ing. Stefan Balzert
Dipl.-Ing. Marc Brestrich
Prof. Dr.-Ing. Günther Schmidt-Gönner
E-Mail: i.wagner@zip.uni-sb.de
Tel. 049-681-302-6120
Fax 049-681-302-6121



UPSCAL

Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten des Größenwachstums von Windkraftanlagen und Lösungsansätze für die sich daraus ergebenden Problemstellungen

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger

8. Quellen

1. J. P. Molly
Technical Trends in Wind Turbine Development
DEWI Magazine, february 2002
www.dewi.de
2. Bundesverband Windenergie
Wind Turbine Market surveys 2002 and earlier
www.wind-energie.de
3. Erneuerbare Energien
Wind Turbine Market surveys 2002 and earlier