100. Haupt-Versammlung der STG in Berlin 2005

25 Jahre Rationale Theorie
der Propulsion
Fritz Horn zum 125. Geburtstag

Michael Schmiechen, Berlin

www.m-schmiechen.homepage.t-online.de
Stand: 17.11.2005

Horns frühe Ansätze

1935: Auswertung von Schraubenversuchen. Schiffbau, Schiffahrt und Hafenbau.
1937: Bestimmung des Mitstroms durch Versuch Modell mit Schraube. Vorbemerkungen, Bericht. Anhang I: Geänderte Auswertung von Schraubenversuchen. Anhang II: Auswertung von effektiven Nachstrom-Mittelwerten nach der Methode von Horn-Dickmann (Troost). Proc. 4th ITTC, VWS Mitteilungen.

Meine ersten Gehversuche

1961: Modellversuche mit Kort-Düsen für Seeschiffe: ERP-Vorhaben S 1100.
1968: Performance Criteria … : ONR Symposium Rom.
1970: Bewertung von Propulsionssystemen. Schiffstechnik.
1980: Eine Axiomatische Theorie der Wechselwirkungen zwischen Schiffsrumpf und -propeller. Fritz Horn zum 100. Geburtstag gewidmet. Schiffstechnik.
1980: Nachstrom und Sog aus Propulsionsversuchen allein. Eine rationale Theorie der Wechselwirkungen zwischen Schiffsrumpf und –propeller. STG.
1984: Wake and Thrust Deduction from Propulsion Tests Alone. A Rational Theory of Ship Hull-Propeller Interaction. ONR Symposium Hamburg.

'Offene' Propeller

Seither ca. 50 Veröffentlichungen. Vollständige Bibliographie und alle Veröffentlichungen, Berichte und Beispiele seit ca. 1990 auf meiner Website.

Die eine Richtung hatte das Ziel, <u>das Froudeschen Verfahren zu rationalisieren</u>, soweit das möglich ist, soweit zwar keine physikalische Trennung mehr, aber wenigstens noch die begriffliche Trennung von Rumpf und Propeller sinnvoll möglich ist.

Partielle Lösungen

Während Horn zunächst nur den Nachstrom aus Propulsions-Versuchen allein bestimmen wollte, stellte mein Kollege Alfred Kracht bei seinem Versuchsverfahren den Sog in den Mittelpunkt. Sein Ziel war von vornherein, die Leistungs-Prognose zu rationalisieren.
Abweichend von Horns und Krachts partiellen Lösungen habe ich versucht, das Problem der 'offenen' Propeller hinter relativ schlanken Schiffen sofort bei beiden Hörnern zu packen und Nachstrom und Sog gemeinsam aus Propulsions-Versuchen allein zu bestimmen.

Modelle, Schiffe

Während Kracht, und von der Stein bei Binnenschiffen, *bei Modellen* schon auf viele Erfahrungen und Ergebnisse verweisen können, kann ich bisher nur wenige, sehr grundsätzliche Verfahren und Versuche vorweisen.
Wie das Verfahren von Froude sind die Verfahren von Kracht und von der Stein aber nur bei Modellen anwendbar, <u>während bei meinen Arbeiten von Anfang an die Anwendung bei Schiffen, und zwar beliebiger Form und unter Betriebs-Bedingungen, im Vordergrund stand</u>.

Nachstrom und Sog aus Propulsions-Versuchen allein

Erste Höhepunkte:
1988: Messungen auf der METEOR im Nordmeer.
1991: 2nd International Workshop on the Rational Theory of Ship Hull-Propeller Interaction and its Applications (2nd INTERACTION Berlin 1991), in der VWS unter Beteiligung des ITTC Powering Performance Committee. VWS Mitteilungen.

Rumpf-integrierte Propulsoren

Die andere Richtung hatte das Ziel, Entwurfs-, Mess- und Bewertungs-Verfahren für Rumpf.integrierte Propeller zu entwickeln, also für den Fall, dass die Trennung von Rumpf und pPropulsor nicht einmal mehr begrifflich sinnvoll möglich ist. Typische Fälle sind, wie ich immer wieder betont habe, Binnen-Schiffe mit Düsen-Propellern.

1978: Rationale Modelle idealer Propeller endlicher Belastung. Schiffstechnik. Diskussion mit Sparenberg.
1983: On Optimal Ducted Propellers for Bodies of Revolution - A Speculative Reconstruction. El Pardo.

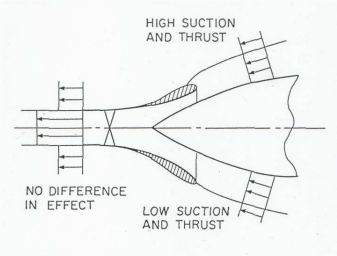
Entwurf von Düsen-Propellern

Es folgte ein langes 'Intermezzo' über den 'Entwurf und Bewertung von Düsen-Propellern' mit zahlreichen Projekten; Vorträgen und Veröffentlichungen.
1988: An Advanced Method for Design of Optimal Ducted Propellers behind Bodies of Revolution. SNAME/STAR/IMSD Pittsburgh.Mit Zhou Lian-di vom CSSRC.
1993: Entwurf und Bewertung von Düsenpropellern mit Leitapparaten. Grundsatzversuche zu den Wechselwirkungen zwischen Schiffsrumpf und -propeller. FDS, STG.
1994: Design and Evaluation of Ducted Propellers as Pumps. Centenary of the Krylov Ship Research Institute, St. Petersburg.

Daniel Bernoulli in action

1961: Versuche **Sog/Düsenschub bilden einen energetisch neutralen hydro-dynamischen Kurzschluss**

Busmann, STG 1935
Schmiechen, ONR 1968

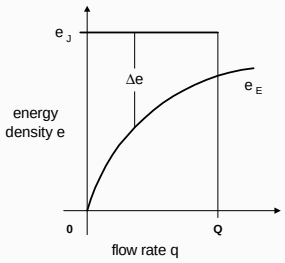


Propeller als Pumpen

1921: Fresenius, R.: Das grundsätzliche Wesen der Wechselwirkungen zwischen Schiff und Propeller. Schiffbau.
Dabei interessiert nicht der Kurzschluss, sondern die Wirkung weit hinter dem Schiff. Dem Ansatz von Fresenius und dem Vorgehen der Pumpenbauer entsprechend konnte ein Entwurfs-Verfahren entwickelt werden, bei dem der Schub nicht mehr Entwurfsziel ist, sondern sich 'beiläufig ergibt', so wie es Dickmann, erst 20 Jahre nach Busmann, formulierte, ohne aber selber die Konsequenzen daraus zu ziehen.

'Grosse Freiheit'

'Invariantes' Entwurfsziel für alle äquivalenten optimalen, dem Nachstrom ange-passten Düsen-Propeller inklusive aller Wechsel-wirkungen!



‘Pumpe’: Stator, Rotor, Düse, *1992*

STG Berlin 2005 MS / 13

‘Pumpe’: hinter *Amtsbergs* ‘Zigarre’

STG Berlin 2005 MS / 14

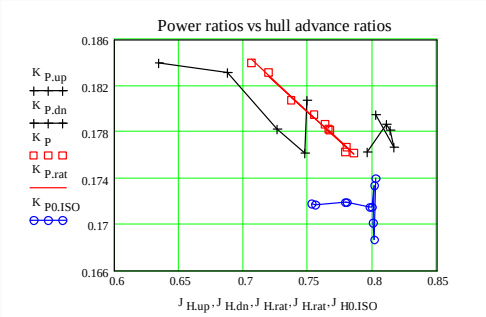
Auswerten von Probefahrten

1999 ff: Seit dem japanischen ISO-Vorschlag zur Auswertung von Probefahrten rückten wieder die Messungen auf Schiffen in den Vordergrund.

Auf der Basis eines Nebensatzes im METEOR-Bericht wurde ein transparentes Verfahren der Identifikation von Parametern der Propulsion zum Auswerten traditioneller stationärer Probefahrten entwickelt, das ohne jede Schiffstheorie und ohne Hydrodynamik, das ohne jeden professionellen Aberglauben auskommt, *so wie auch es sein muss*, wie es die Vertragspartner erwarten.

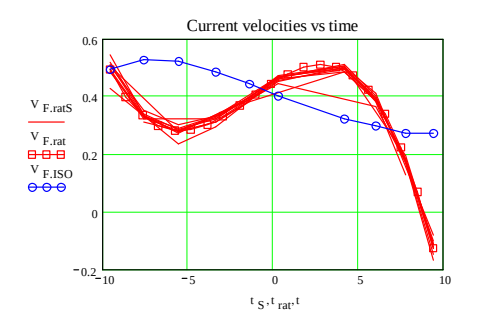
STG Berlin 2005 MS / 15

Propeller-Kennlinie ‘behind’: ISO Beispiel



STG Berlin 2005 MS / 16

Strömung ‘auf der Meile’: ISO Beispiel



STG Berlin 2005 MS / 17

Not invented here!

2001: Evaluating Ship Speed Trials: Identifying Parameters of Powering Models. Lavrentiev Lectures St-Petersburg.

Nachdem die Norm ISO 15016: 2002-06, trotz ihrer von mir rechtzeitig nachgewiesenen Mängel, von allen nationalen Gremien abgesegnet wurde, und die ITTC ihr Trials Committee 2002 aufgelöst hat(!), interessieren sich endlich Hochschulen und Versuchsanstalten für das Auswerten von Probefahrten (Andersen in Lyngby, gestützt auf Kappels 'Enthusiasmus', und MARIN in Wageningen, mit einem JIP), aber aus dem bekannten Grund noch nicht für mein Verfahren.

STG Berlin 2005 MS / 18

Quasi-stationäre Propulsion

Im Gegensatz zu den traditionellen stationären Probefahrten sind quasi-stationäre Versuche viel effizienter. Sie liefern in viel kürzerer Zeit viel mehr Informationen.
Der Axiomatik liegt Modell idealer Propeller in gleichförmigem Energie- und Verdrängungs-Nachstrom zugrunde.

Im Folgenden werden die wesentlichen Gleichungen der Theorie nur gezeigt, die ich bisher noch nicht endgültig so klar und sauber dargestellt habe. Natürlich kann die detaillierte Diskussion nicht Gegenstand dieser kurzen Präsentation sein.

Impuls-Bilanz

Die erste Grundgleichung ist die Impulsbilanz

$$m\,a + R(v) = T\,(1 - t)\,,$$

in der für die Abhängigkeit des Widerstandes von der Geschwindigkeit im einfachsten Fall die *lokale* quadratische Approximation

$$R(v) = r_0 + r_1\,v + r_2\,v^2/2$$

mit drei Parametern gemacht wird.

Sog-Funktion

Die vollständige Sog-Funktion ist

$$t = (1 + \tau + \chi)/\tau - [(1 + \tau + \chi)^2 - 2\,\tau\,\chi]^{1/2}/\tau$$

mit dem relativen Geschwindigkeits-Zuwachs als Funktion des Strahlwirkungsgrades

$$\tau = 2\,(1/\eta_{TJ} - 1)$$

und dem Einflussgrad der Verdrängung

$$\chi \equiv w_D/(1 - w_E - w_D)\,,$$

der bei Modell und Schiff verschieden ist!

Sog-Axiom

Von Interesse ist die globale Approximation

$$t \approx 0.56\,\chi\,\eta_{TJ}\,.$$

Damit 'ergibt' sich als plausibles Sog-Axiom

$$\mathbf{t = t_{TJ}\,\eta_{TJ}}$$

mit dem weiteren Parameter

$$\mathbf{t_{TJ} = const\,.}$$

Es ersetzt die Schleppversuche!

Die vier Parameter ergeben sich damit als Lösung eines linearen Gleichungs-Systems, *vorausgesetzt der Strahlwirkungsgrad ist schon bekannt.*

Energie-Bilanz

Dieses Problem kann wie folgt gelöst werden.
Die zweite Grundgleichung ist die Energie-Bilanz des Propellers

$$T\,V\,(1 - w) = \eta_{TJ}\,\eta_{JP}\,P_P$$

mit dem Strahl-Wirkungsgrad

$$\eta_{TJ} \equiv P_T/P_J$$

und dem Pumpen-Wirkungsgrad

$$\eta_{JP} \equiv P_J/P_P\,.$$

Gewöhnlich wird diese Trennung leider nicht gemacht, obwohl der Pumpen-Wirkungsgrad alleine zeigt, wie gut ein Propeller wirklich ist.

Nachstrom-Funktion

Die theoretische Funktion für den Strahl-Wirkungsgrad ist

$$\eta\,(1 - w)\,V/\eta_{JP} = 2/[1 + (1 + c/(1 - w)^2)^{1/2}]$$

mit dem scheinbaren Propeller-Belastungsgrad

$$c \equiv 2\,T/(\rho\,V^2\,A)$$

und dem scheinbaren Propeller-Wirkungsgrad

$$\eta \equiv T\,V/P_P\,,$$

die sich beide aus Messgrössen ergeben.
Aufgelöst ergibt sich daraus eine Funktion für die Nachstrom-Zahl

$$w_1(\eta_{JP}) = c\,\eta/(4\,\eta_{JP}) - \eta_{JP}/\eta + 1\,.$$

Nachstrom-Axiome

In Anlehnung an das Sog-Axiom wird ferner das
Nachstrom-Axiom

$$w = w_{TJ}\,\eta_{TJ}$$

mit dem Parameter

$$w_{TJ} = \text{const}\,,$$

eingeführt; dazu kommt als Axiom für den hydraulischen oder Pumpen-Wirkungsgrad

$$\eta_{JP} = \text{const}$$

im interessierenden Betriebsbereich.
Sie ersetzen die Freifahrt-Versuche.

Prüfung der Plausibilität an freifahrenden Propellern.

Iterative Lösung

Aus den Axiomen ergibt sich als zweite explizite Bedingung für die gesuchten Parameter

$$w_2(\eta_{JP}, w_{TJ}) = 1 / [1 + \eta_{JP} / (\eta\, w_{TJ})]\,.$$

Die Gleichung

$$w_1(\eta_{JP}) = w_2(\eta_{JP}, w_{TJ})$$

für die gesuchten Parameter ist 'leider' nicht-linear und muss iterativ gelöst werden.

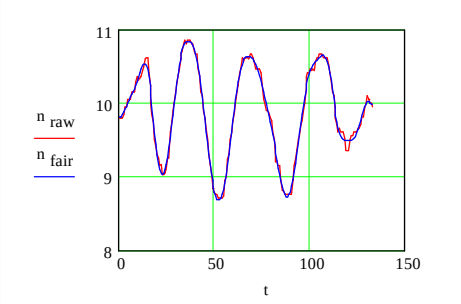
Ist die Lösung erreicht, so lassen sich alle Propulsions-Grössen im Bereich der beobachteten scheinbaren oder Rumpf-Fortschrittsgrade bestimmen.

Ein 'Modell'-Versuch

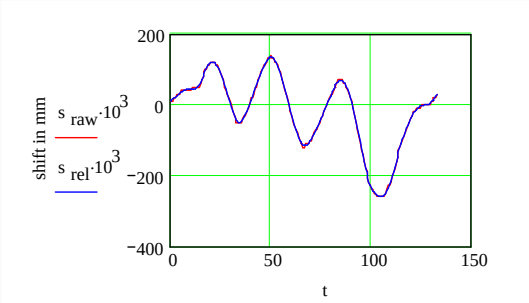
2002: Nach Vorträgen über die rationale Theorie der Propulsion in der Versuchsanstalt in Danzig erneute Auswertung eines Modellversuchs, der 1987 vor den METEOR-Versuchen in der VWS durchgeführt wurde. Dabei Berücksichtigung der inzwischen gewonnenen Erkenntnisse.

Es folgen die Roh-Daten und abgeleitete Daten eines quasi-stationären Propulsions-Versuchs von zwei Minuten Dauer, bei dem das Modell bei kleinen Änderungen der Drehfrequenz völlig frei unter dem Schleppwagen 'pendelte'.

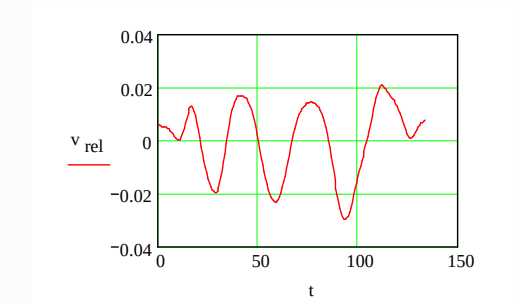
Roh-Daten: Drehfrequenz



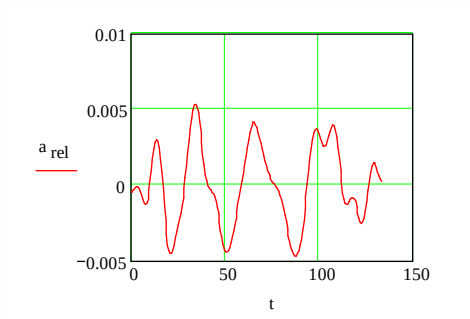
Roh-Daten: rel. Verschiebung



'Abgeleitet': rel. Geschwindigkeit

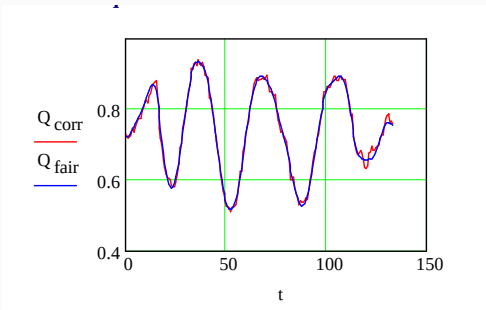


'Abgeleitet': Beschleunigung



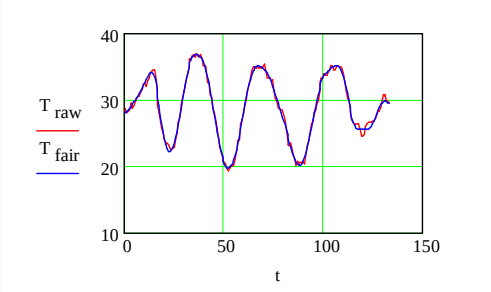
STG Berlin 2005 MS / 31

Roh-Daten: Drehmoment



STG Berlin 2005 MS / 32

Roh-Daten: Schub



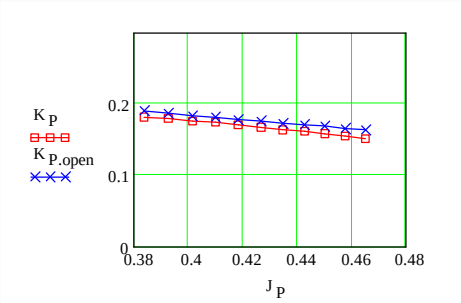
STG Berlin 2005 MS / 33

Propulsions-Verhältnisse

Mit der vorher skizzierten Theorie lassen sich aus diesen Daten alle Propulsions-Verhältnisse bestimmen.
Im Folgenden werden sie mit den auf traditionelle Weise bestimmten Werten verglichen. Sämtliche Details der Auswertungen finden sich auf meiner Website.

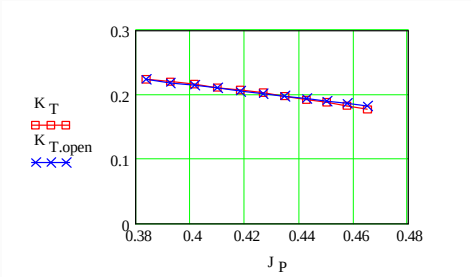
STG Berlin 2005 MS / 34

Leistungs-Zahlen $K_P = 2\,\pi\,K_Q$



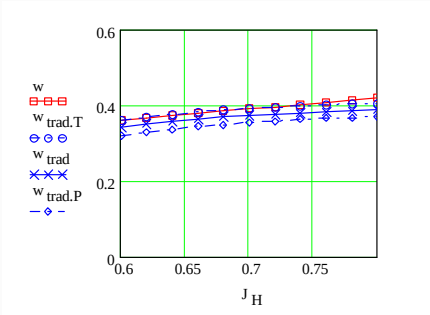
STG Berlin 2005 MS / 35

Schub-Zahlen



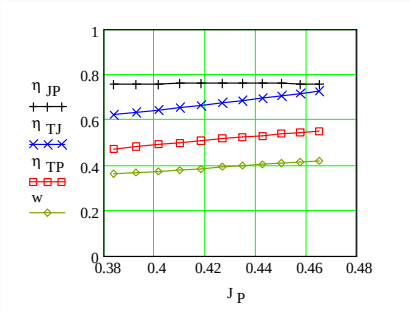
STG Berlin 2005 MS / 36

Nachstrom-Zahlen



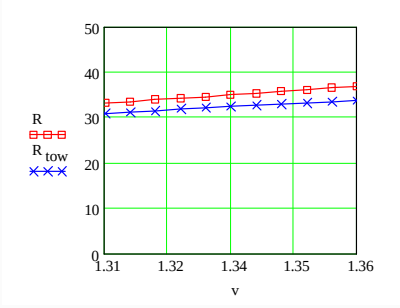
STG Berlin 2005 MS / 37

Equivalenter freifahrender Propeller



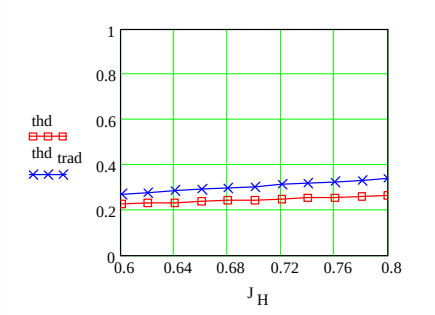
STG Berlin 2005 MS / 38

Widerstands-Werte



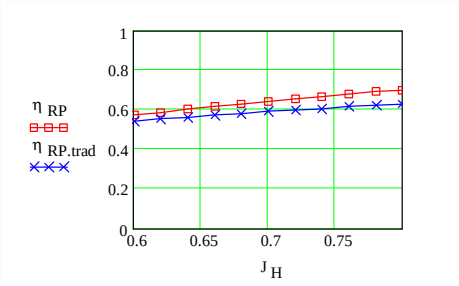
STG Berlin 2005 MS / 39

Sog-Zahlen



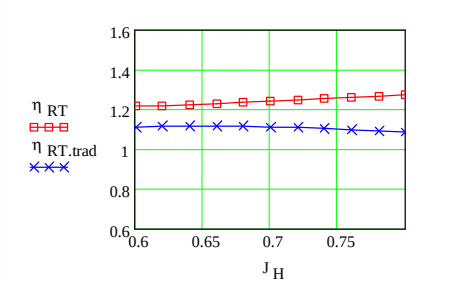
STG Berlin 2005 MS / 40

Propulsions-Wirkungsgrade



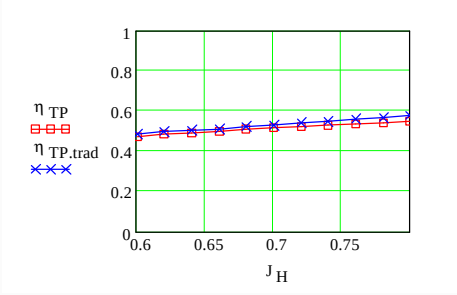
STG Berlin 2005 MS / 41

Rumpf-Einflussgrade



STG Berlin 2005 MS / 42

Propeller-Wirkungsgrade 'behind'



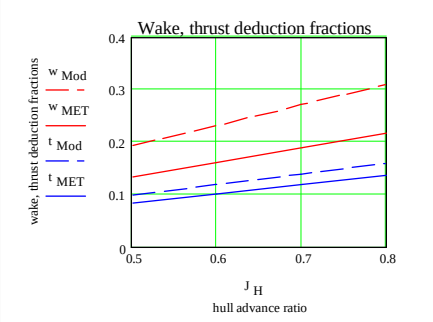
Noch einmal METEOR

Angefangen hatte die Sache mit dem METEOR-Projekt.

2002: Nach der erfolgreichen Auswertung des 'Modell'-Versuchs wurden auch Daten von der METEOR und ihrem Modell soweit möglich noch einmal ausgewertet. Damit gelang, weltweit erstmalig, die zuverlässige direkte Bestimmung von Maßstabs-Effekten in Nachstrom und Sog.
Erinnerung an das Weinblum-Zitat aus der gestrigen Vorlesung von Eatock Taylor.

METEOR: Versuchs-Bedingungen, *1988*

METEOR: Maßstabs-Effekte



See the future!

Alle hier vorgestellten Ergebnisse sind ein später Triumph für Horns frühe Visionen. Ich bedanke mich bei der STG, dass ich hier noch einmal einen Überblick über die Entwicklung geben durfte.
Auch wenn das heute, zur 100sten Hauptversammlung der STG in Charlottenburg, ein Rückblick ist, geht es hier nicht um Historie, sondern um die Zukunft. Wir können es uns nicht mehr leisten, auch in der Hydrodynamik nicht, immer noch in den Begriffs-Kostümen unserer Großväter herum zu stolzieren.

Do it now!

Für jeden, der nicht blind auf beiden Augen ist, liegen die theoretischen, praktischen und kommerziellen Vorteile der Konzeptionen sichtbar auf der Hand.
Jetzt, nach 25 Jahren erfolgreicher Entwicklung, ist die Zeit vorbei, die einfachen Ansätze und ihren Nutzen immer noch 'nicht zu verstehen'. Es ist vielmehr höchste Zeit, ihre Vorteile zu nutzen. *Do it now!*
Statt dessen beobachte ich immer noch das zwar weit verbreitete, aber nicht sonderlich kreative und nicht sonderlich innovative Verhalten, weiter zu warten und 'erst mal zu sehen, was die anderen machen'.