

# Solarstrom und Wasserkraft Schwimmende Multi-MW Hybrid Kraftwerke

Ein innovatives Kraftwerkskonzept mit einfacher Skalierbarkeit  
und grosser Multiplizierbarkeit für die schnelle  
Weiterentwicklung der Photovoltaik

25. Symposium Photovoltaische Solarenergie  
3. bis 5. März 2010  
in Kloster Banz, Bad Staffelstein

Thomas Nordmann • Thomas Vontobel  
Stephanie Mehlfeld  
TNC Consulting AG  
CH-8703 Erlenbach  
Switzerland  
nordmann@tnc.ch • www.tnc.ch

# Überblick: Solarstrom und Wasserkraft

- Warum brauchen wir einen Quantensprung bei der terrestrischen PV Anwendung?
- Wie gross ist das verfügbare Land für PV?
- Warum Multi-MW PV- hybrid Wasser-Kraftwerke?
- Wie gross ist die PV Energieernte im Vergleich zu Wasserkraft?
- Sihlsee Studie aus dem Schweizer Wasserkraft Universum
- Was sind die technischen und wirtschaftlichen Chancen und Herausforderungen?
- Weiteres Vorgehen 2010/2011
- Sieben Thesen

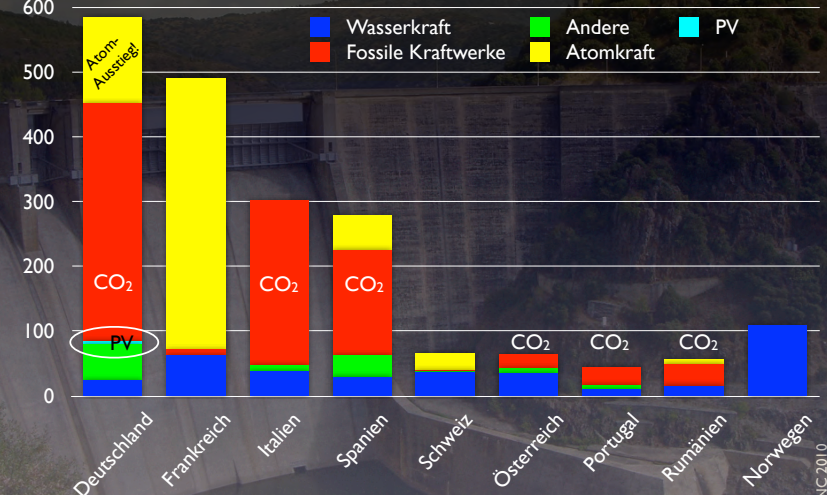
# Ausgangslage I

- Photovoltaik wurde zu einer der am schnellsten wachsenden Wirtschaftsbereiche! ✓
- Weltweit hat die PV-Industrie eine (nachhaltige?) Wachstumsrate von 30% - 50% pro Jahr erreicht! ✓
- Aber der produzierte Solarstrom Anteil im Strommix ist immer noch unbedeutend < 0.1% in der Schweiz! ☹ ☹ ☹
- Deutschland hat einem PV-Anteil von 1% erreicht ☺
- Bayern erreichte einen PV-Anteil von 3% des Strommix ☺ ☺

# Strom Produktion und - Herkunft in Europa

[TWh/a]

Quelle: UCTE Statistik 2007/2009/  
IEA 2007



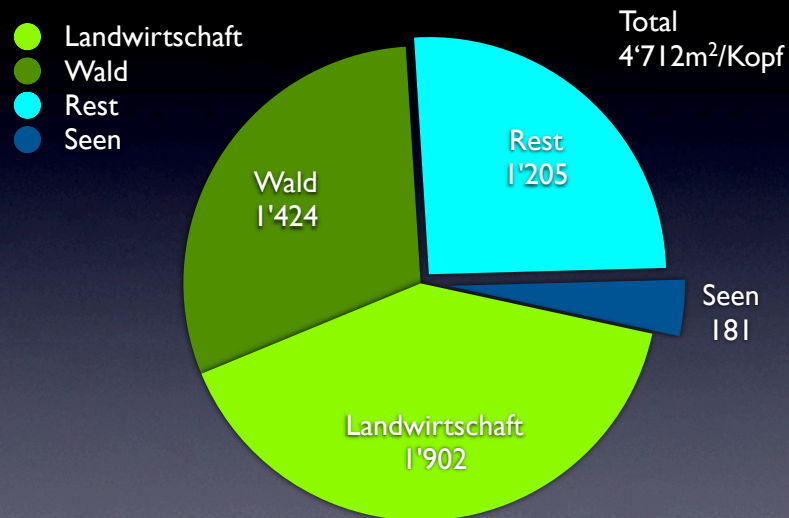
## Ausgangslage II

- Terrestrische PV Technologie für netzgekoppelte Anwendungen wurde für zwei Sektoren entwickelt:
  - Gebäude, Dächer, Fassaden und Integration (→ BiPV)
  - Grössere Freiflächen-Anlagen
- Es gibt bedeutende ökonomische und technische Verbesserungen auf der Komponenten-Seite, aber die Projektentwicklung bleibt zeitaufwendig und ist nicht immer erfolgreich!
- Beide Sektoren leiden unter den (noch) hohen Erst-Investitions-Kosten und der (zu) langen Zeit der Projektentwicklung (Jahre/Monate).
  - Die eigentliche Realisierung erfolgt in Wochen!

## Ausgangslage III

- Jedes Objekt hat einen individuellen Ansatz: Bauherr → Investor → Planung/Gestaltung → Bewilligung → Finanzierung → Bau
- Bei Freiflächen-Anlagen scheint es einfacher, aber es gibt zunehmend Bedenken der Gesellschaft wegen des (zusätzlichen) Landverbrauchs.
- Wenn die Photovoltaik einen bedeutenden Beitrag zum EU Strommix leisten will (→ 20/20/2020), müssen wir unsere Anstrengungen bei der Projekt Umsetzung multiplizieren.
- Gleichzeitig müssen wir auch die Fragen um die Netz-integration proaktiv angehen.
- Sind da schwimmende Multi-MW Hybrid Kraftwerke eine neue zusätzliche Dimension für terrestrische Photovoltaik?

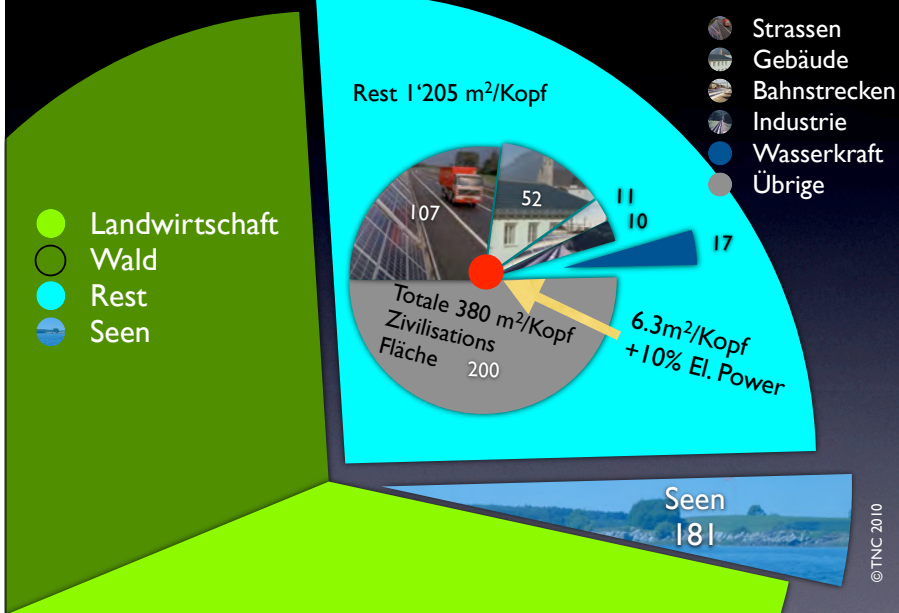
## Verfügbares Land in der Schweiz ...



## Warum PV auf Wasser? (I)

- Der Landanteil der natürlichen Schweizer Seen entspricht 1'300 km<sup>2</sup> oder 3.1% Gesamtfläche.
- Die Schweiz hat zusätzlich 116.4 km<sup>2</sup> künstliche Seen errichtet, um Wasserkraftwerke zu betreiben
- Die gesamte Fläche dieser Wasserkraft Seen entsprechen 0.3% der Schweizer Landfläche
- Die Schweiz hat ihre natürliche Seefläche um 10% für die Stromproduktion vergrössert!
- Dieser (Bau-) Prozess hat über 100 Jahre gedauert!

## Verfügbares Land in der Schweiz: 4'712 m<sup>2</sup>/Kopf



9

## Warum PV auf Wasser? (II)

- Norwegen, Österreich und die Schweiz sind die Vorreiter für die Stromerzeugung aus Wasserkraft in Europa
- Norwegen hat einen Anteil an Wasserkraft von 98.5%
- Österreich 61%
- Schweiz 52.5%
- und Deutschland 4.5%
- In der Schweiz wird mehr als die Hälfte der Stromerzeugung aus Wasserkraft mit Speicherkraftwerken in «künstlichen» Seen realisiert

TNC Advanced Energy Concepts

10

## Das Schweizer Wasserkraft Universum



11

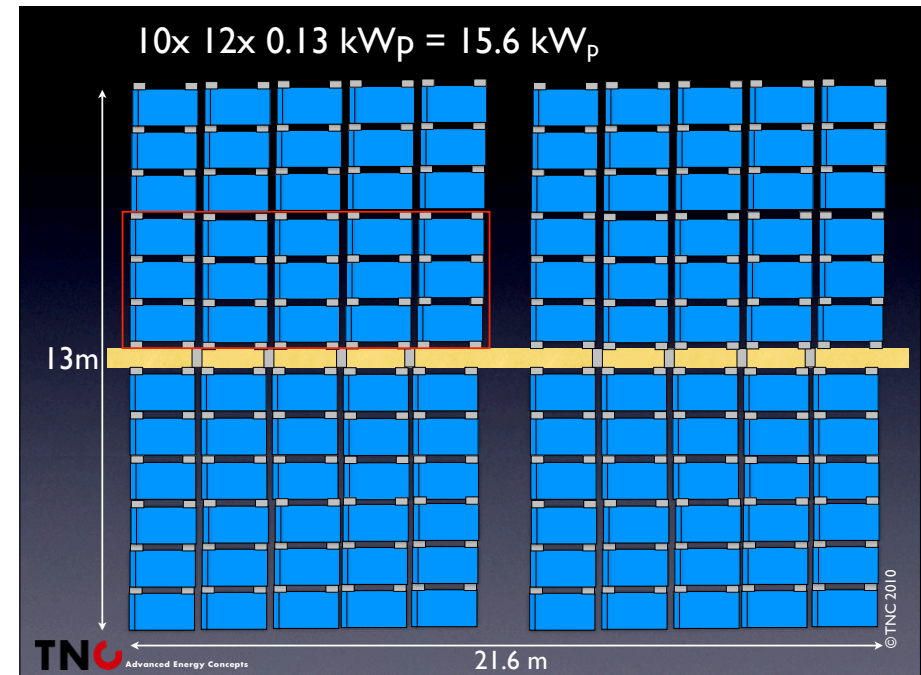
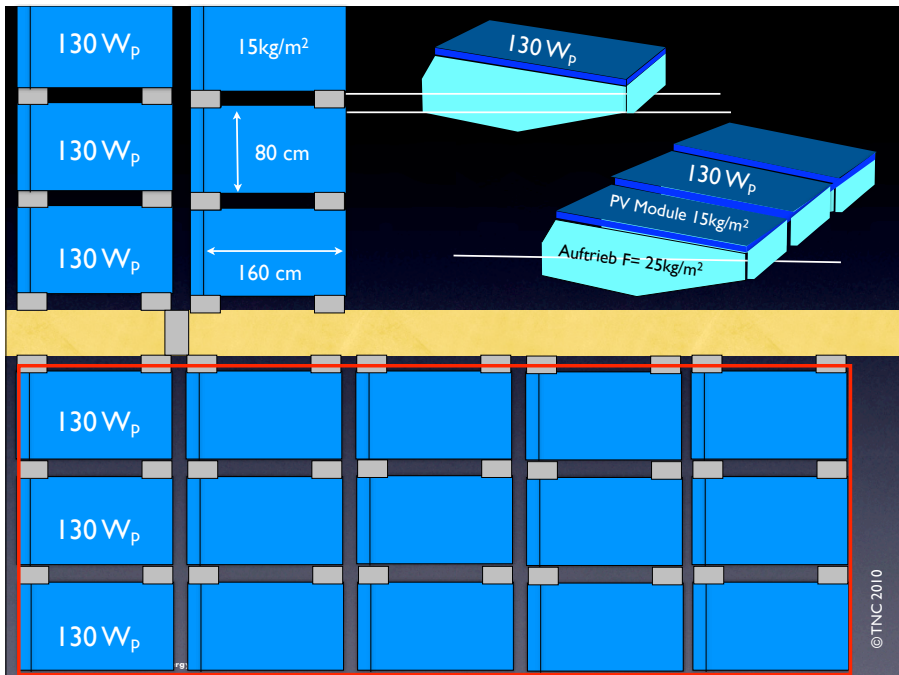
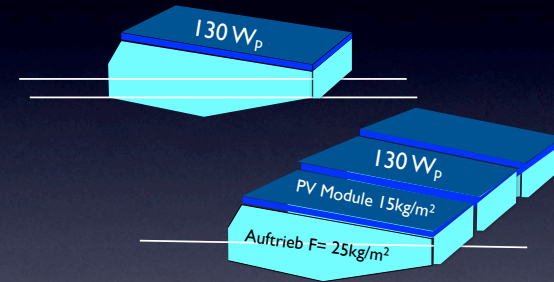
## Eckwerte des "Sihlsee" (889 m ü. M.)

- Das Kraftwerk ist in Besitz der Schweizerischen Bundesbahn SBB und speist das 16 2/3 Hz S Bahn Netz des Kanton Zürich
- Das hydrologische Einzugsgebiet ist 157 km<sup>2</sup>
- Die nutzbare Wassermenge zur Erzeugung von Wasserkraft beträgt 91.6 Mio. m<sup>3</sup>
- Der jährliche Wasserzulauf beträgt 236 Mio. m<sup>3</sup>
- Die jährliche Stromerzeugung beträgt 270 Mio. kWh
- See und Kraftwerk wurden 1932 - 1937 gebaut

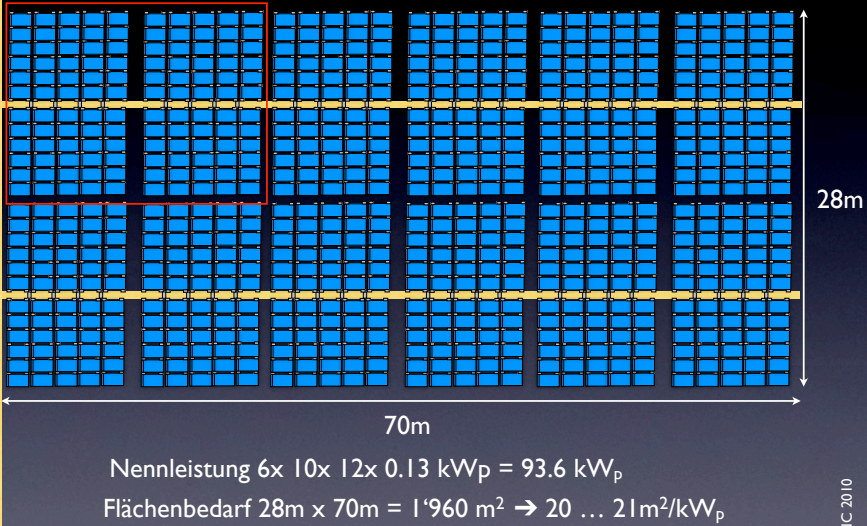
TNC Advanced Energy Concepts

12

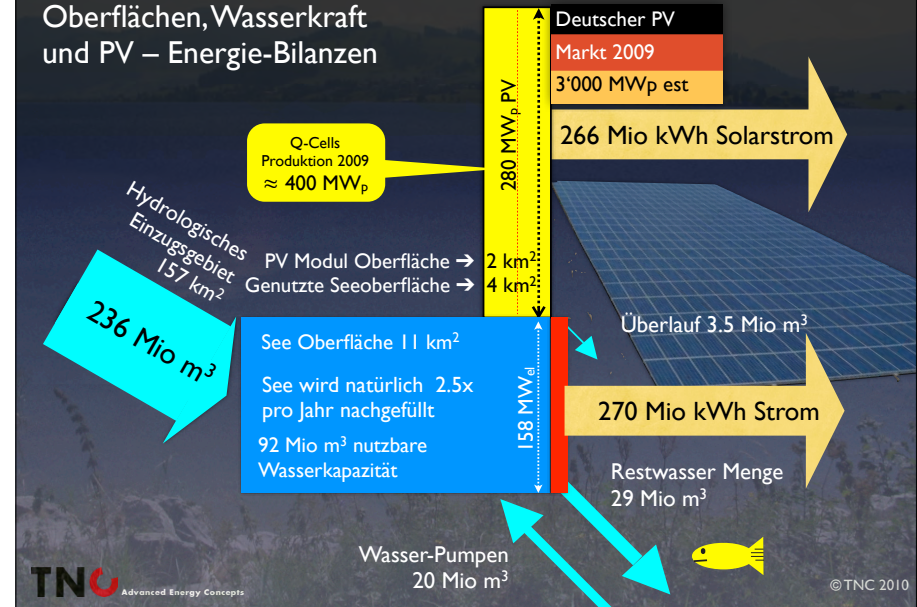
# Eckwerte des "Sihlsee" (889 m ü. M.)



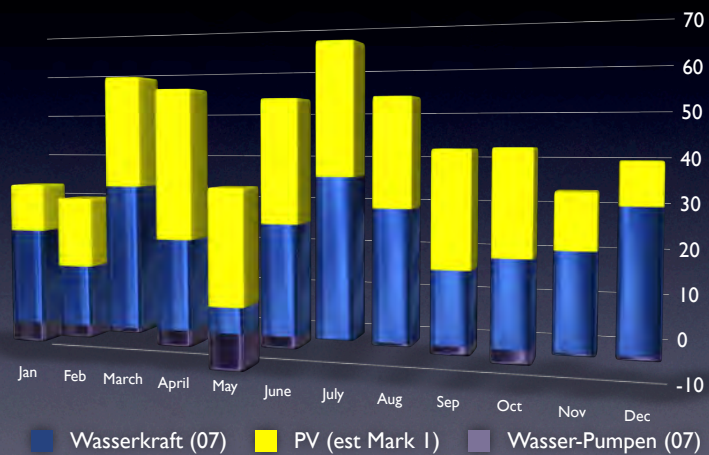
### Flächenbedarf einer schwimmenden 95kW<sub>p</sub> PV Anlage



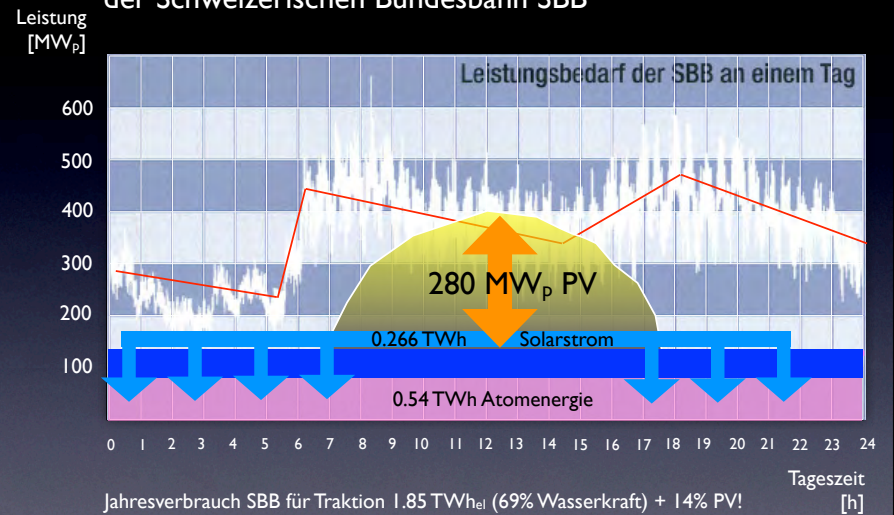
### Die "Sihlsee" TNC Studie: Oberflächen, Wasserkraft und PV – Energie-Bilanzen



### Die "Sihlsee" Leistung 158 MW<sub>el</sub> plus 280 MW<sub>el p</sub> PV Ertrag [Mio. kWh/Monat]



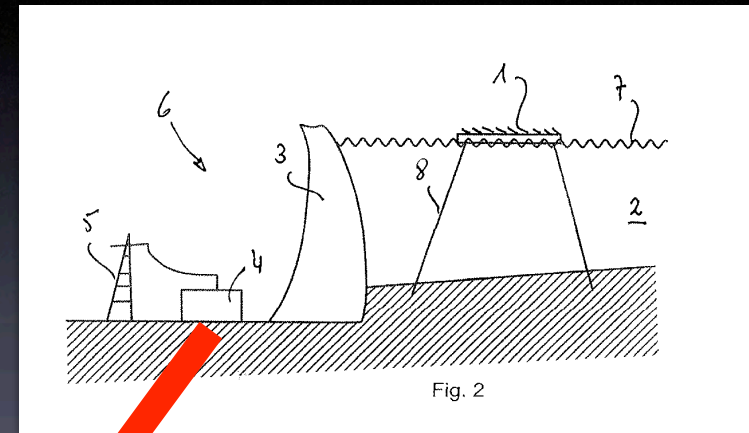
### Typischer 24h Strom Last-Profil der Schweizerischen Bundesbahn SBB



## Chancen ...

- Der Projektvorschlag ist ein innovativer Weg, um die Leistung und Produktion von Wasserkraftwerken schnell erhöhen zu können.
- Der Plan hat einen hohen Multiplikationsfaktor und eine hohe Modularität von 100 kW<sub>p</sub> bis Multi-MW<sub>p</sub>.
- Der Tag-Nacht-Ausgleich der Stromproduktion für die Leistungsanpassung ist mit der vorhandenen Wasserkraftanlage optimal realisiert.
- Damit etablieren wir einen dritten Weg für die schnelle Photovoltaik-Anwendung.
- Wir erreichen einen erstaunlich hohen Flächenertrag, auch im Vergleich zur heutigen Wasserkraftnutzung.

## Schweizer Patent angemeldet ...



## und Herausforderungen:

- Eisproblem im Winter
- Algen und Muscheln am Schwimmkörper im Sommer
- Die richtige technische Lösung für den variablen Wasserspiegel
- Wie wird der Unterhalt gemacht?
- Wie ist die Akzeptanz dieser doppelten Flächennutzung für die Stromproduktion?
- Wie erreichen wir das Kostenniveau von heutigen Photovoltaik Dachanlagen?
- Effekte zwischen der Wasserhydrologie und PV





25



Wie an die unterschiedlichen Höhen-Niveaus anpassen!

26

## Herausforderungen der schwimmenden PV-Anlagen

**Vorgänge in einem See**

Der oberflächennahe, vom Tageslicht durchflutete und der tiefe, dunkle Teil des freien Wassers-

**Vorgänge in einem See**

**Zonen im See**

Das Erklärvideo des Leheneraums Sees ist während der Stagnationsphase in drei verschichtete

**Stagnationsph**

Epilimnion  
Metalimnion (Sprungschicht)  
Hypolimnion

**Zirkulationsph**

Sauerstoff [mg O<sub>2</sub>]

Phosphat [mg PO<sub>4</sub>-P]

Algen

Phosphor löst sich aus dem Sediment

Sauerstoffmangel

Zusatz P<sub>2</sub> gelangt

Viel Sauerstoff wird für den Abbau genutzt

Zusatz Biomasse

**Vorgänge in einem See**

**Algen (Phytoplankton)**

Unter Phytoplankton versteht man im Wasser frei schwebende Algen. In dieser vielgestaltigen Gruppe kommen einzelne und mehrzellige fähige Organismen sowie Zellkolonien vor. Einige davon können sich aktiv fortbewegen. Bei steigendem Sonnenstand, beginnender Schichtung des Wasserkörpers und hohen Nährstoffkonzentrationen setzt in produktiven Seen im Frühjahr ein explosionsartiges Wachstum der Algenpopulationen ein (Frühjahrsblüte). Algenfressende Zooplankter beginnen sich aufgrund des guten Nahrungsangebotes ebenfalls stark zu vermehren. Nach wenigen Wochen nimmt die Algenbiomasse durch die intensive Nahrungsaufnahme des Zooplanktons wieder ab. Der See durchläuft das Klarwasserstadium. Wegen fehlender Nahrung sterben nun auch die Zooplankter ab, was erneut ein verstärktes Algenwachstum erlaubt. Dieses Wechselspiel kann sich im Sommer und Herbst noch mehrmals in abgeschwächter Form wiederholen. Sind in dieser Zeit genügend Nährstoffe vorhanden, können einzelne Algenarten innerhalb weniger Tagen sehr hohe Dichten erreichen. Diese Algenblüten sind bei Biogästen sehr unbeliebt und können auch für Fische ein Problem darstellen, da es Algenarten gibt, die toxische Substanzen ausscheiden können.

**Zooplankton**

Unter Zooplankton versteht man mikroskopisch kleine Tiere, die im Wasser schweben. Viele Zooplankter machen ausgeprägte vertikale Wanderungen im Tag-Nacht-Rhythmus. Am Tag halten sich die meisten Individuen in der dunklen der Seetiefe auf. Gegen Abend steigen sie in die oberflächennahen Wasserschichten auf, um dort Phytoplankton und Bakterien zu fressen oder andere Zooplankter zu jagen. Die Wanderung erfolgt entweder aktiv durch Rudertüsse oder passiv, wie zum Beispiel bei der Gaschleimkugellehre (*Chaoborus flavicans*), welche durch Kontraktion von Tracheenblasen eine Volumen- und somit Auftriebsänderung erzeugen kann. Das Zooplankton ist ein wichtiger Bestandteil der Nahrungskette im Ökosystem See. Algenfressende Zooplankter reduzieren die Biomasse des Phytoplanktons, während die Zooplankter ihrerseits von verschiedenen Fischarten gefressen werden. Insbesondere als Nahrungsgrundlage vieler Jungfische kommt dem Zooplankton grosse Bedeutung zu.

AWEL: Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft  
Abteilung Gewässerschutz  
Oberflächengewässerschutz

Abteilung Gewässerschutz  
Oberflächengewässerschutz

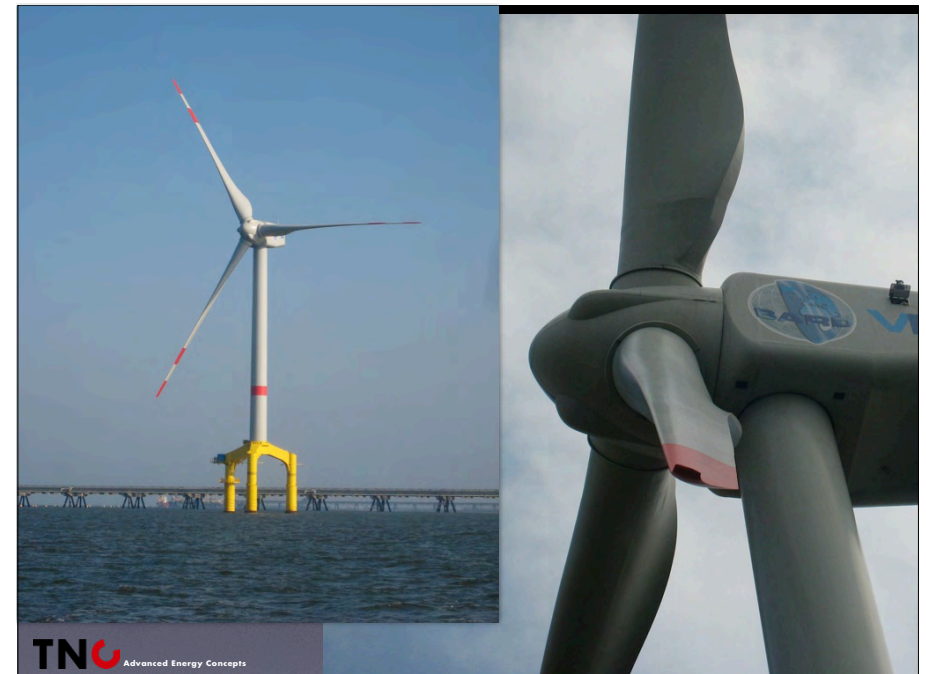
Abteilung Gewässerschutz  
Oberflächengewässerschutz

pro natura

WWF

TNO Advanced Energy Concepts

27

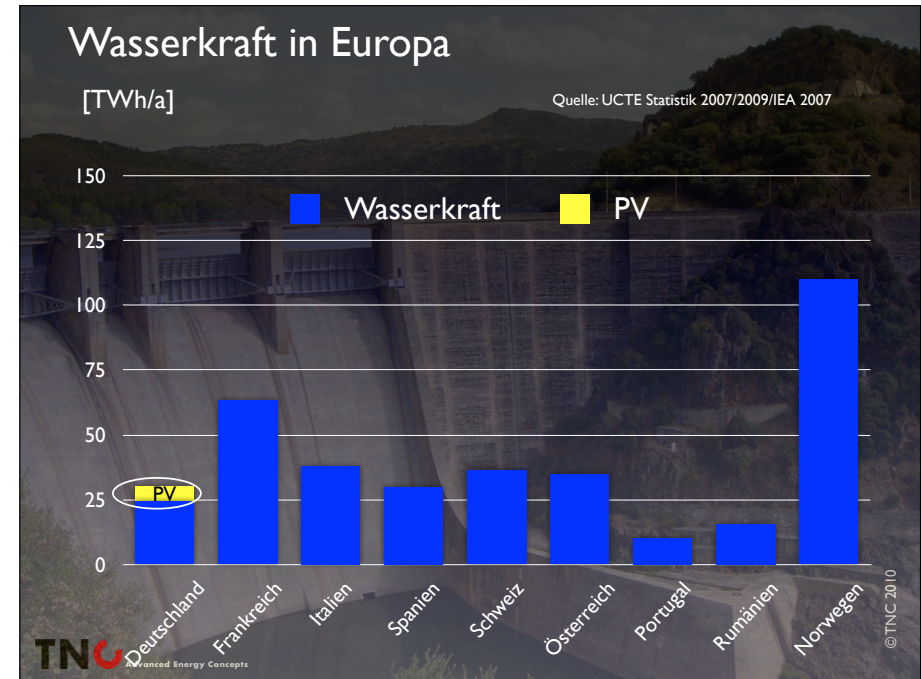


TNO Advanced Energy Concepts

28



29



30

## Sieben Thesen I:

- Montag  
Photovoltaik ist eine der am schnellsten wachsenden Industrien, aber leistet trotzdem (noch) keinen quantitativen Beitrag an die Stromversorgung Europas!
- Dienstag  
Für den 20/20/20 Plan der EU braucht PV einen Quantensprung auch bei der Projektentwicklung.
- Mittwoch  
Beim Erreichen der Netzparität suchen die Investoren auch ohne EEG nach schnell erschliessbaren möglichst grösseren Flächen und Projekten.
- Donnerstag  
PV erreicht einen erstaunlich hohen Flächenertrag sogar im Vergleich zur heutigen Wasserkraftnutzung.

31

## Sieben Thesen II:

- Freitag  
Die Symbiose von Wasserkraft und schwimmenden PV Anlagen ist eine ideale hybride Kombination zur Vergrößerung der Strom-Produktion ohne weiteren Landverbrauch. Auch die Netzeinbindung und Lastregulierung kann doppelt genutzt werden.
- Samstag  
„Economy of volume“ kann in den Fabriken verbessert werden. Für deutlich niedrigere Transaktions- und Projektentwicklungskosten eignen sich Anlagen mit immer dem gleichen „blue print“.
- Sonntag  
Hybrid PV Wasserkraftwerke sind eine Chance und Herausforderung auch für EVU's, die so aus der Pflicht entlastet werden, weitere fossile- oder nukleare Produktions Anlagen bauen zu müssen.

32