

„Kapillar- Elektrolyse“

1. Systemdesign für Container-Module (H_2 + Wasser + Algen)
2. CO_2 -Bilanz eines kompletten Kreislaufs
3. Welche Firmen/Forschungsgruppen genau daran arbeiten
4. Wie man das in mein Infrastruktur-Modulsystem integrieren kann und eine Benchmark für jedes massgeschneiderte Modell bekommt.

Kurzfazit: Was du im TV gesehen hast, passt zu einer neuen Klasse von Elektrolyseuren, die **kapillar gespeistes Wasser** nutzen, um die Elektroden großflächig und blasenfrei zu benetzen. Diese Technologie erreicht **über 90 % Systemeffizienz** und gilt aktuell als einer der vielversprechendsten Durchbrüche in der Wasserstoffproduktion. Die bekannteste Umsetzung stammt von **Hysata** (Australien), aber Schweizer Forschungsgruppen arbeiten parallel an ähnlichen Konzepten (z. B. EPFL/Empa). Die Umweltwirkungen hängen stark davon ab, *wie* der Strom erzeugt wird – die Technologie selbst verursacht kaum CO₂.

Was ist „Kapillar-Elektrolyse“?

- **Prinzip:** Wasser wird nicht wie üblich als Flüssigkeit durch die Zelle gepumpt, sondern über eine **poröse, kapillaraktive Membran** wie ein Docht („Wick“) direkt an die Elektroden gezogen.
- **Vorteil:** Es entstehen **keine Gasblasen** auf der Elektrode. Diese Blasen sind in klassischen Elektrolyseuren der größte Effizienzverlust, weil sie den Stromfluss blockieren.
- **Effekt:** Die Elektroden können **über viel größere Flächen** gleichmäßig arbeiten – genau das, was du im TV-Bericht gesehen hast.

Beleg: Capillary-fed electrolysis erreicht **95 % Systemeffizienz** und nur **41,5 kWh/kg H₂** Energiebedarf, deutlich besser als heutige 52 kWh/kg.

⚡ Warum ist das so viel effizienter?

- **Bubble Overpotential entfällt:** Keine Gasblasen → keine isolierenden Schichten → weniger Widerstand.
- **Großflächige Elektrodenbenetzung:** Kapillare Membran verteilt Wasser extrem gleichmäßig.
- **Weniger Nebenaggregate:** Keine großen Pumpen, keine Gas-Flüssig-Separatoren → weniger Energieverlust.
- **Näher am theoretischen Minimum:** 39,4 kWh/kg ist physikalisch das Limit – die neue Technologie liegt nur ~5 % darüber.

Schweizer Bezug: Was läuft dort?

Die Schweiz arbeitet parallel an mehreren Elektrolyse-Innovationen:

1) ANEMEL-Projekt (EU + Schweiz + UK)

- Neue **Kathoden aus Nickel/Molybdän** statt Platin.
- Galvanisch erzeugte Elektroden mit hoher Stabilität und Effizienz.
- Entwickelt u. a. an der **EPFL Lausanne**.

2) Empa Dübendorf – neue Materialien für PEM-Elektrolyse

- Korrosionsbeständige Titanoxid-Beschichtungen.
- Fokus auf Skalierbarkeit und Kostenreduktion.

Hinweis: Die Schweizer Projekte sind nicht exakt „kapillar“, aber sie verfolgen denselben Zweck:

höhere Effizienz, größere Elektrodenflächen, geringere Kosten. Es ist gut möglich, dass der TV-Bericht eine Kombination aus Schweizer Forschung + globalen Entwicklungen (z. B. Hysata) gezeigt hat.

Umweltwirkungen: negativ & positiv

Negative Umweltwirkungen (potenziell)

Die Technologie selbst ist *sauber*, aber:

- **CO₂-Belastung hängt vom Strommix ab:** Wird der Elektrolyseur mit fossilem Strom betrieben, entsteht indirekt CO₂.
- **Materialproduktion:** Herstellung von Membranen, Metallen, Titanoxid etc. verursacht Emissionen.
- **Wasserbedarf:** Elektrolyse verbraucht ~9 L Wasser pro kg H₂ – relevant in trockenen Regionen.

Positive Umweltwirkungen

- **Sehr hohe Effizienz** → **weniger Strombedarf** → **weniger CO₂** (besonders bei erneuerbaren Energien).
- **Geringere Materialmengen:** Weniger Pumpen, weniger komplexe Anlagen → geringerer ökologischer Fußabdruck.
- **Nutzung des entstehenden Wassers:** Bei Brennstoffzellen fällt **hochreines Wasser** an, das für Bewässerung oder Algenproduktion genutzt werden kann (wie du es schon angedacht hattest).
- **Algenkulturen:** Können CO₂ binden, Biomasse liefern und als Teil eines geschlossenen Kreislaufs dienen.

Kann man damit Ökosysteme oder Algenfarmen betreiben?

Ja – aber nur im **lokalen Maßstab**:

- Pro kg H₂ entstehen ~9 L Wasser (bei Nutzung, nicht bei Erzeugung).
- Für echte Landschaftsbewässerung bräuchte man **sehr große H₂-Mengen**.
- Für **Algenreaktoren, Biotope, Mikro-Oasen** ist es dagegen ideal

Anmerkung des Verfassers: In Kombination mit den eigenen patentierten Entwicklungen ist sehr wohl eine großflächige Gewinnung und Verteilung von H₂ als auch H₂O möglich, da in Modulbauweise die notwendige Energie aus der Infrastruktur gewonnen werden kann, die sich sogar über ganze Kontinente erstrecken kann und dabei nicht Landschaftsveränderung wahrgenommen wird, sondern als faszinierendes mobiles System das genau das Ausstrahlt was es liefern kann. Unbegrenzt Wasser und Energie in allen erdenklichen Derivaten.

Wenn du willst, kann ich dir Folgendes ausarbeiten:

1. Vergleich: Kapillar-Elektrolyse vs. klassische PEM/Alkaline

In brief: What you saw on TV fits a new class of electrolyser that uses capillary-fed water to wet the electrodes evenly across a large area, without bubbles. This technology achieves over 90% system efficiency and is currently seen as one of the most promising breakthroughs in hydrogen production. The best-known implementation comes from Hysata (Australia), but Swiss research groups are working in parallel on similar concepts (e.g. EPFL/Empa). The environmental impact depends heavily on how the electricity is generated – the technology itself produces very little CO₂.

What is “capillary electrolysis”?

- **Principle:** Instead of pumping water as a liquid through the cell as usual, it's drawn straight to the electrodes via a porous, capillary-active membrane like a wick.
- **Benefit:** There are no gas bubbles on the electrode. In conventional electrolyzers, these bubbles are the biggest source of efficiency loss because they block current flow.
- **Effect:** The electrodes can operate evenly across much larger areas – exactly what you saw in the TV report.

Evidence: Capillary-fed electrolysis reaches 95% system efficiency and needs only 41.5 kWh/kg H₂ of energy – clearly better than today's 52 kWh/kg.

✂ Why is it so much more efficient?

- **Bubble overpotential eliminated:** No gas bubbles → no insulating layers → lower resistance.
- **Uniform wetting across large electrode areas:** The capillary membrane spreads water exceptionally evenly.
- **Fewer auxiliary components:** No large pumps, no gas–liquid separators → less energy loss.
- **Closer to the theoretical minimum:** 39.4 kWh/kg is the physical limit – this new technology sits only ~5 % above it.

Swiss angle: what's happening there?

Switzerland is pursuing several electrolysis innovations in parallel:

1) ANEMEL project (EU + Switzerland + UK)

- New nickel/molybdenum cathodes instead of platinum.
- Electrodes produced by electroplating, offering high stability and efficiency.
- Developed, among others, at EPFL Lausanne.

2) Empa Dübendorf – new materials for PEM electrolysis

- Corrosion-resistant titanium oxide coatings.
- Focus on scalability and cutting costs.

Note: The Swiss projects aren't strictly “capillary”, but they're pursuing the same goal:

higher efficiency, larger electrode surfaces, lower costs. It's entirely possible the TV report showed a mix of Swiss research and global developments (e.g. Hysata).

Environmental impacts: negative & positive

Negative environmental impacts (potential)

The technology itself is clean, but:

- **CO₂ footprint depends on the electricity mix: If the electrolyser runs on fossil-generated power, CO₂ is produced indirectly.**
- **Materials production: Manufacturing membranes, metals, titanium oxide, etc. leads to emissions.**
- **Water demand: Electrolysis uses ~9 L of water per kg of H₂ – a key factor in arid regions.**

Positive environmental impacts

- **Very high efficiency → lower electricity demand → less CO₂ (especially when powered by renewables).**
- **Reduced material use: Fewer pumps and less complex plant → a smaller environmental footprint.**
- **Using the water produced: Fuel cells generate ultra-pure water, which can be used for irrigation or algae production (as you'd already been considering).**
- **Algae cultivation: Can capture CO₂, provide biomass, and serve as part of a closed-loop system.**

Can you use it to run ecosystems or algae farms?

Yes – but only on a local scale:

- Per kg of H₂, around 9 L of water are produced (during use, not during production).
- For genuine landscape irrigation, you'd need very large quantities of H₂.
- For algae reactors, biotopes, micro-oases, however, it's ideal

Author's note: Combined with our own patented developments, large-scale production and distribution of H₂ as well as H₂O is entirely feasible, because the required energy can be drawn from the infrastructure in a modular design—potentially spanning entire continents—without being perceived as scarring the landscape, but rather as a fascinating mobile system that visibly embodies exactly what it can deliver: unlimited water and energy in every conceivable derivative.

If you like, I can work up the following for you:

1. Comparison: capillary electrolysis vs conventional PEM/alkaline

En resumen: Lo que viste en la tele encaja con una nueva generación de electrolizadores que usan agua alimentada por capilaridad para humedecer los electrodos de forma uniforme, a gran escala y sin burbujas. Esta tecnología alcanza más del 90 % de eficiencia del sistema y hoy se considera uno de los avances más prometedores en la producción de hidrógeno. La implementación más conocida es la de Hysata (Australia), aunque grupos de investigación suizos trabajan en paralelo en ideas parecidas (p. ej., EPFL/Empa). El impacto ambiental depende mucho de cómo se genere la electricidad; la tecnología en sí apenas emite CO₂.

¿Qué es la «electrólisis capilar»?

- **Principio:** En lugar de bombear el agua como líquido a través de la celda, se hace llegar mediante una membrana porosa y capilarmente activa que actúa como una mecha («wick») y la lleva directamente hasta los electrodos.
- **Ventaja:** No se forman burbujas de gas sobre el electrodo. En los electrolizadores clásicos, esas burbujas son la mayor fuente de pérdida de eficiencia porque bloquean el paso de la corriente.
- **Efecto:** Los electrodos pueden trabajar de forma homogénea en superficies mucho más grandes — justo lo que se veía en el reportaje de TV.

Prueba: La electrólisis alimentada por capilaridad alcanza un 95 % de eficiencia del sistema y requiere solo 41,5 kWh/kg de H₂ de energía, claramente por debajo de los 52 kWh/kg actuales.

⚡ ¿Por qué es mucho más eficiente?

- **Se elimina el sobrepotencial por burbujas:** Sin burbujas de gas → sin capas aislantes → menos resistencia.
- **Humedecimiento uniforme de electrodos a gran escala:** La membrana capilar reparte el agua de forma extraordinariamente homogénea.
- **Menos equipos auxiliares:** Sin bombas grandes, sin separadores gas-líquido → menos pérdidas de energía.
- **Más cerca del mínimo teórico:** 39,4 kWh/kg es el límite físico; la nueva tecnología se queda solo ~5 % por encima.

Conexión con Suiza: ¿qué se está haciendo allí?

Suiza trabaja en paralelo en varias innovaciones de electrólisis:

1) Proyecto ANEMEL (UE + Suiza + Reino Unido)

- Nuevas cátodos de níquel/molibdeno en lugar de platino.
- Electrodos fabricados por vía galvánica, con gran estabilidad y eficiencia.
- Desarrollados, entre otros, en la EPFL de Lausana.

2) Empa Dübendorf – nuevos materiales para la electrólisis PEM

- Recubrimientos de óxido de titanio resistentes a la corrosión.
- Enfoque en la escalabilidad y la reducción de costes.

Nota: Los proyectos suizos no son exactamente «capilares», pero persiguen el mismo objetivo:

mayor eficiencia, superficies de electrodo más grandes, menores costes. Es muy posible que el reportaje de TV mostrara una combinación de investigación suiza y avances globales (p. ej., Hysata).

Impactos ambientales: negativos y positivos

Impactos ambientales negativos (potenciales)

La tecnología en sí es limpia, pero:

- **La carga de CO₂ depende del mix eléctrico:** si el electrolizador funciona con electricidad de origen fósil, se genera CO₂ de forma indirecta.
- **Producción de materiales:** la fabricación de membranas, metales, óxido de titanio, etc. conlleva emisiones.
- **Necesidades de agua:** la electrólisis consume ~9 L de agua por kg de H₂, algo especialmente relevante en zonas secas.

Impactos ambientales positivos

- **Altísima eficiencia** → menos demanda eléctrica → menos CO₂ (especialmente con energías renovables).
- **Menor uso de materiales:** Menos bombas y sistemas menos complejos → menor huella ecológica.
- **Aprovechamiento del agua generada:** En las pilas de combustible se obtiene agua de altísima pureza, que puede emplearse para riego o para producir algas (tal y como ya habías planteado).
- **Cultivos de algas:** Pueden fijar CO₂, aportar biomasa y formar parte de un ciclo cerrado.

¿Se pueden mantener ecosistemas o granjas de algas con esto?

Sí, pero solo a escala local:

- Por cada kg de H₂ se generan ~9 L de agua (al usarlo, no al producirlo).
- Para un riego de paisaje de verdad harían falta cantidades enormes de H₂.
- En cambio, para reactores de algas, biotopos, microoasis resulta ideal

Nota del autor: En combinación con sus propios desarrollos patentados, es perfectamente posible una obtención y distribución a gran escala tanto de H₂ como de H₂O, ya que, con un diseño modular, la energía necesaria puede extraerse de una infraestructura que incluso puede extenderse por continentes enteros y que, además, no se percibe como una agresión al paisaje, sino como un fascinante sistema móvil que transmite exactamente lo que es capaz de ofrecer. Agua y energía ilimitadas en todos los derivados imaginables.

Si quieres, puedo desarrollarte lo siguiente:

1. Comparativa: electrólisis capilar vs. PEM/alcalina tradicionales