

Wilhelm OSTWALD

Wirken und Bedeutung für die Gründung und Entwicklung der MOL
Katalysatortechnik

Merseburg, den 13. Mai 2020

Dr. Jürgen Koppe
MOL Katalysatortechnik GmbH



Eltern:

Gottfried Ostwald Elisabeth Ostwald

geboren:
02. September 1853
in Riga



1880 Hochzeit mit **Helene von Reyher** (1854 bis 1946)

gestorben:
03. April 1932
in Leipzig



Kinder:

Grete (1882 bis 1960), **Wolfgang** (1883 bis 1943), **Elisabeth** (1884 bis 1968), **Walter** (1886 bis 1958), **Carl Otto** (1890 bis 1958)



**OSTWALD als Freidenker
(deutscher Monistenbund, Gründer Ernst Haeckel)**

Bertold Brecht (1898 bis 1956) (Geschichten von Herrn K.):

Einer fragte Herrn K., ob es einen GOTT gäbe. Herr K. sagte: „Ich rate Dir, nachzudenken, ob Dein Verhalten je nach der Antwort auf diese Frage sich ändern würde.

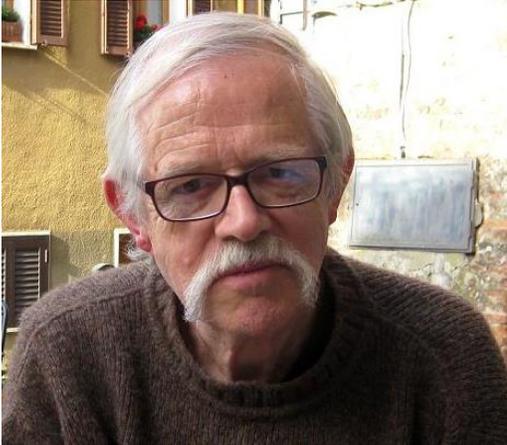
Würde es sich nicht ändern, können wir die Frage fallen lassen.

Würde es sich es sich ändern, dann kann ich Dir wenigstens noch so weit behilflich sein, dass ich Dir sage, Du hast Dich schon entschieden: Du brauchst einen GOTT.“

OSTWALD ließ diese Frage fallen und verhielt sich zeitlebens unabhängig von irgendeiner (göttlichen) Autorität.

Das verschaffte ihm enorme geistige Freiräume, die er konsequent nutzte.

OSTWALD als Politiker



John Gage (1938 bis 2012)
„Kulturgeschichte der Farbe“

OSTWALD war **Sozialist** und **Patriot**

- ➔ Teilnahme Friedenskonferenz in Stockholm 1910 mit dem Beitrag „Kultur und Frieden“
- ➔ Gemeinsames Auftreten mit Karl Liebknecht und Bettina von Suttner gegen den drohenden Krieg
- ➔ Beginn 1. Weltkrieg:
 - OSTWALD ändert seine Position gemäß dem damals gängigen Spruch „am deutschen Wesen soll die Welt genesen“
- ➔ Keine Mitwirkung an Kriegsforschung
- ➔ 20er Jahre Kontakt zur linksgerichteten Kunstszene (Galerie „Sturm“)

OSTWALD als Philosoph

Die Energetik: Vergeude keine Energie – nutze sie!

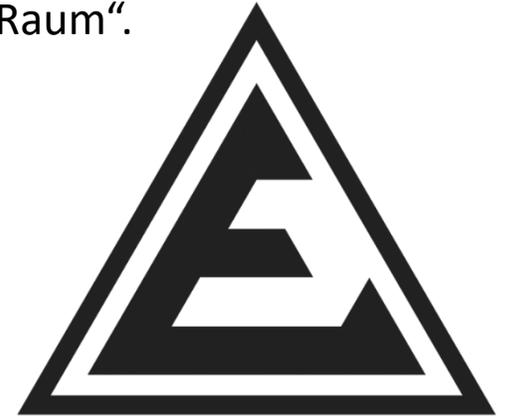
„Die Energie ist die allgemeine Substanz, denn sie ist das Vorhandene in Zeit und Raum und sie ist das allgemeine Accidenz [der Zufall], denn sie ist das Unterschiedliche in Zeit und Raum“.

OSTWALD's Schlussfolgerungen:

- **Fossile Energieträger** sind als **Reserve** aufzufassen
- **Fossile Energieträger** sind nicht für den dauerhaften Gebrauch geeignet anzusehen
- Es ist vorrangig die von der Sonne eingestrahlte Energie zu nutzen

Bedeutet für die Gegenwart:

- **Schaffung von technologischen Voraussetzungen für eine sichere Nutzung der Sonnenenergie**
- Speicherkapazität → Wasserstoff, Photosynthese (biologisch oder katalytisch)
- **Solange das nicht realisiert ist, benötigen wir noch die Reserven, d.h. die Fossilen Energieträger**



EnergieVernunft
Mitteldeutschland e.V.



Industrie- und Handelskammer
Halle-Dessau



OSTWALD als Wissenschaftler

Goethe (1749 bis 1832) (Abhandlung über die Wissenschaft, 1817)

*Weite Welt und breites Leben,
Langer Jahre redlich Streben,...
Ältestes bewahrt mit Treue,
Freundlich aufgefasstes Neue,
Heiter'n Sinn und reine Zwecke:
Nun! Man kommt wohl eine Strecke.*

Besser lässt sich OSTWALD's Wirken nicht beschreiben

➔ und nun zu ausgewählten Details!

OSTWALD und die MOL Katalysatorertechnik GmbH

1. Der MOL-Begriff
2. Die Katalysatordefinition
3. Die Wasserstrukturen
4. Die Farbenlehre



Der **MOL**-Begriff

OSTWALD 1893 (Grundriss der Allgemeinen Chemie):

1 mol = Relative Molekülmasse (Bezugspunkt: 1 mol C = 12 g)

Beispiel:

- 1 mol O₂ = 32 g
- 1 mol N₂ = 28 g
- 1 mol H₂O = 18 g

Vorteilhafte Anwendung des MOL-Begriffs:

1 mol eines Gases nimmt bei 25 °C und 1 atm ein Volumen von 22,4 Liter ein.

Der MOL-Begriff

1 mol eines Gases nimmt bei 25 °C und 1 atm ein Volumen von 22,4 Liter ein.

Praktische Bedeutung:

Wasserdampf (18 g/22,4 Liter) ist leichter als Luft (28,8 g/22,4 Liter)

Der **Wasserdampfättigungsdruck** $P_{\text{H-O-H}}$ beschreibt die maximale Aufnahmemenge für Wasserdampf in der Luft

Die maximale Aufnahme-Masse an Wasserdampf in der Luft ergibt sich dann zu

$$m_{\text{H-O-H}} = 18 \text{ g/22,4 Liter} \cdot P_{\text{H-O-H}}/P_{\text{ges.}}$$

Diese steigt mit der Temperatur an.

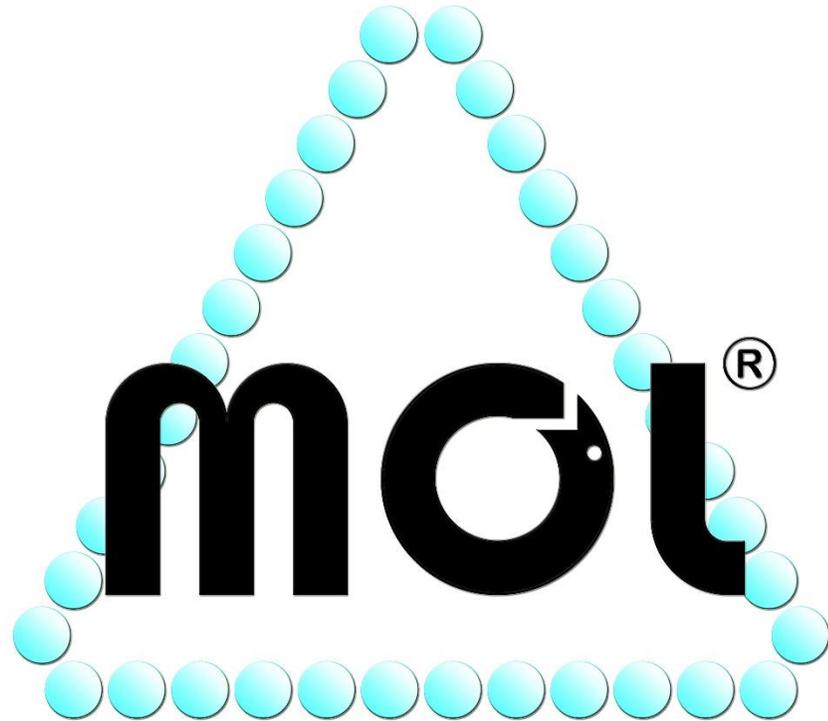
20 °C: 17,3 g (0,96 mol) H₂O/m³ Luft; **25 °C:** 23,0 g (1,28 mol) H₂O/m³ Luft →

+ 7,2 [(1,28 mol – 0,96 mol) • 22,4 Liter/mol] Liter/m³

Zunahme Wasserdampf in der Luft → Volumenzunahme und Druckabnahme

→ Druckdifferenzen entsprechen Energiedifferenzen → **Sturm, Tornados**

Der **MOL**-Begriff



1995 Gründung als **MOL** Forschungsgesellschaft für **M**etalle, **O**xide und **L**egierungen mbH

1998 Umbenennung in **MOL** Katalysatortechnik GmbH

Die Katalysatordefinition

OSTWALD 1894 (Z. f. phys. Chemie):

*„Die...Beschleunigung [einer chemischen Reaktion] erfolgt **ohne Änderung der allgemeinen Energieverhältnisse**,...*

*... Immer aber müssen diese Vorgänge, wie alle natürlichen, in dem Sinne erfolgen, daß **die freie Energie des ganzen Gebildes abnimmt.**“*

Die Katalysatordefinition

Bedeutung für uns! [Analogie: Schiedsrichter beim Fußball]

Katalysator	Schiedsrichter
es gibt keine „katalytische Kraft“	es gibt keinen „mitspielenden“ Schiedsrichter
wirkt, sobald das System aus dem Gleichgewicht gebracht wird	wirkt, sobald das Spiel begonnen hat (1 Ball für 2 Mannschaften bedeutet Ungleichgewicht)
wirkt von einer Stelle aus im gesamten System	wirkt von einer Stelle aus im gesamten Spiel
ermöglicht eine chemische Reaktion	ermöglicht das Spiel
lenkt eine chemische Reaktion	lenkt das Spiel
verbraucht sich nicht, altert jedoch	verbraucht sich nicht, altert jedoch
ohne Änderung der allgemeinen Energieverhältnisse	ohne Änderung der spielerischen Leistung
ist „Schuld“, wenn’s nicht so läuft, wie man will	ist „Schuld“, wenn’s nicht so läuft, wie man will
es gibt Reaktionsmechanismen	es gibt Spielregeln (Der Regelkatalog des Deutschen Fußball-Bundes ist rund 120 Seiten lang!)

**Um das Spiel (die Katalyse) zu verstehen,
muss man die Regeln (Reaktionsmechanismen) kennen!**

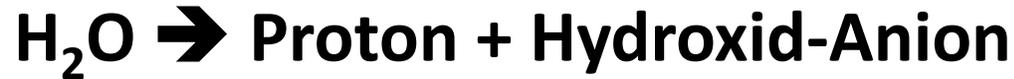
Die Wasserstrukturen

Folgende „neue Spielregeln“ im Umgang mit Wasser wurden definiert:

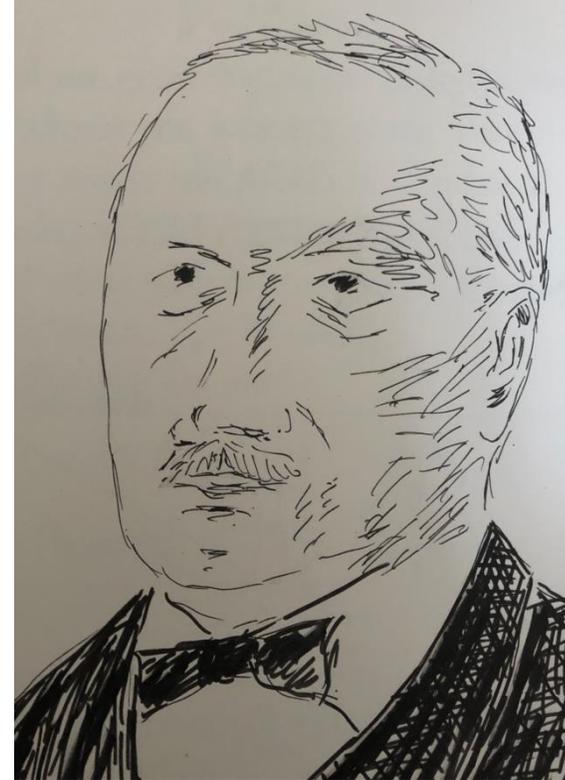
1. Dissoziation
2. Osmotischer Druck

Die Wasserstrukturen

Dissoziation



Grundlage für Säure-Base-Reaktionen



Entdeckung durch **ARRHENIUS**

Ueber die Dissociation der in Wasser gelösten Stoffe. Zeitschrift für physikalische Chemie, 1. Jg., Nr. 11–12, **1887**, S. 631–648.

Wichtige Unterstützung durch **OSTWALD** [MWG + Verdünnungsgesetz]

Ueber die Dissoziationstheorie der Elektrolyte. In: *Z. f. physik. Chemie.* Band 2, **1888**, S. 270–283.

Die Wasserstrukturen

Osmotischer Druck

$$\pi = c_i \cdot R \cdot T = R \cdot T \cdot n_i/V$$



c_i ... Konzentration der Teilchen n_i (Ionen, Moleküle) pro Volumen V

R ... Gaskonstante ($p_\ominus \cdot V_\ominus / T_\ominus$) $\rightarrow p_\ominus \cdot V_\ominus / T_\ominus = (\pi/n_i) \cdot V/T$

Van't HOFF: *Anwendung der idealen Gasgleichung auf in Wasser gelöste Ionen*

The role of osmotic pressure in the analogy between solution and gases. In: *Zeitschrift für Physikalische Chemie.* 1 (**1887**), S. 481–508

Osmotischer Druck und Osmotische Energie

Anmerkung in Weiterführung von Van't HOFF's Überlegungen:

Streng genommen ist der Osmotische Druck kein Druck sondern eine volumenspezifische Energie [J/m^3 bzw. Nm/m^3].

Die **Gaskonstante R** ist eine Energiegröße [**8,314 J/mol•K**]

1 J ist gleich 1 Nm → Der **osmotische Druck** [N/m^2] ergibt sich, wenn man Nm/m^3 in N/m^2 umformt.

Es ist für die folgenden Betrachtungen anschaulicher, wenn anstelle des Begriffs „Osmotischer Druck“ der originäre Begriff „**Osmotische Energie $E(\pi)$** “ verwendet wird.

Die Osmotische Energie ist ein Maß für die Stabilität des Systems Wasser/Ionen.

Die Wasserstrukturen

Was war daran neu?

- **Stabiles Wasser zerfällt in entgegengesetzt geladene Ionen**
- **Elektrisch geladene Ionen verhalten sich wie ideale Gase**

Es musste verrückt klingen und es dauerte ca. 20 Jahre, ehe sich diese Ansichten durchsetzten!

3 Nobelpreisträger setzten hierfür Ihre ganze Autorität ein!

Die Wasserstrukturen

Conrad Wilhelm RÖNTGEN (Nobelpreisträger)

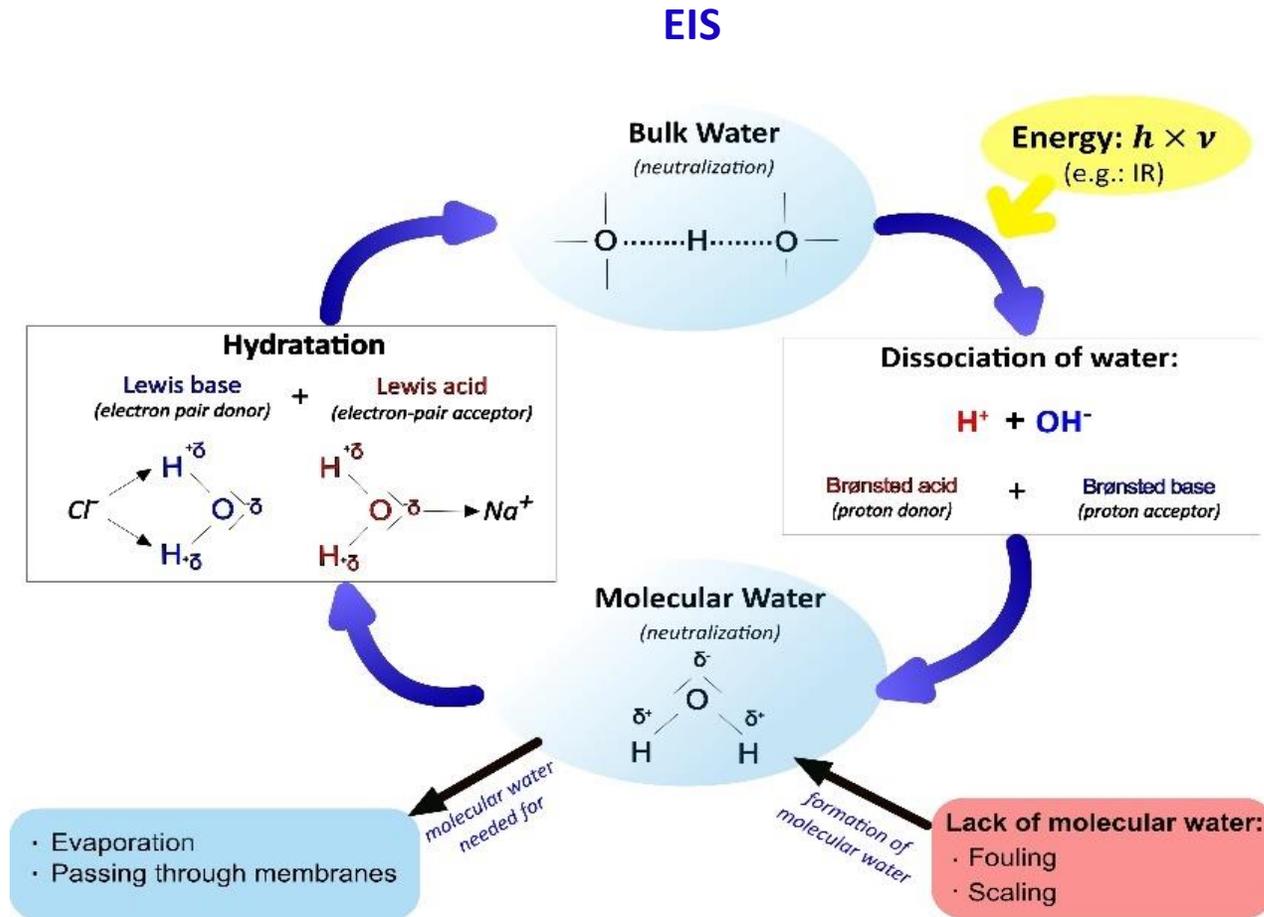
Zwei-Strukturen-Modell des Wassers (1892)

EIS + Moleküle 2. Art

Erklärung der Dichteanomalie

Zusammenspiel der Wasserstrukturen

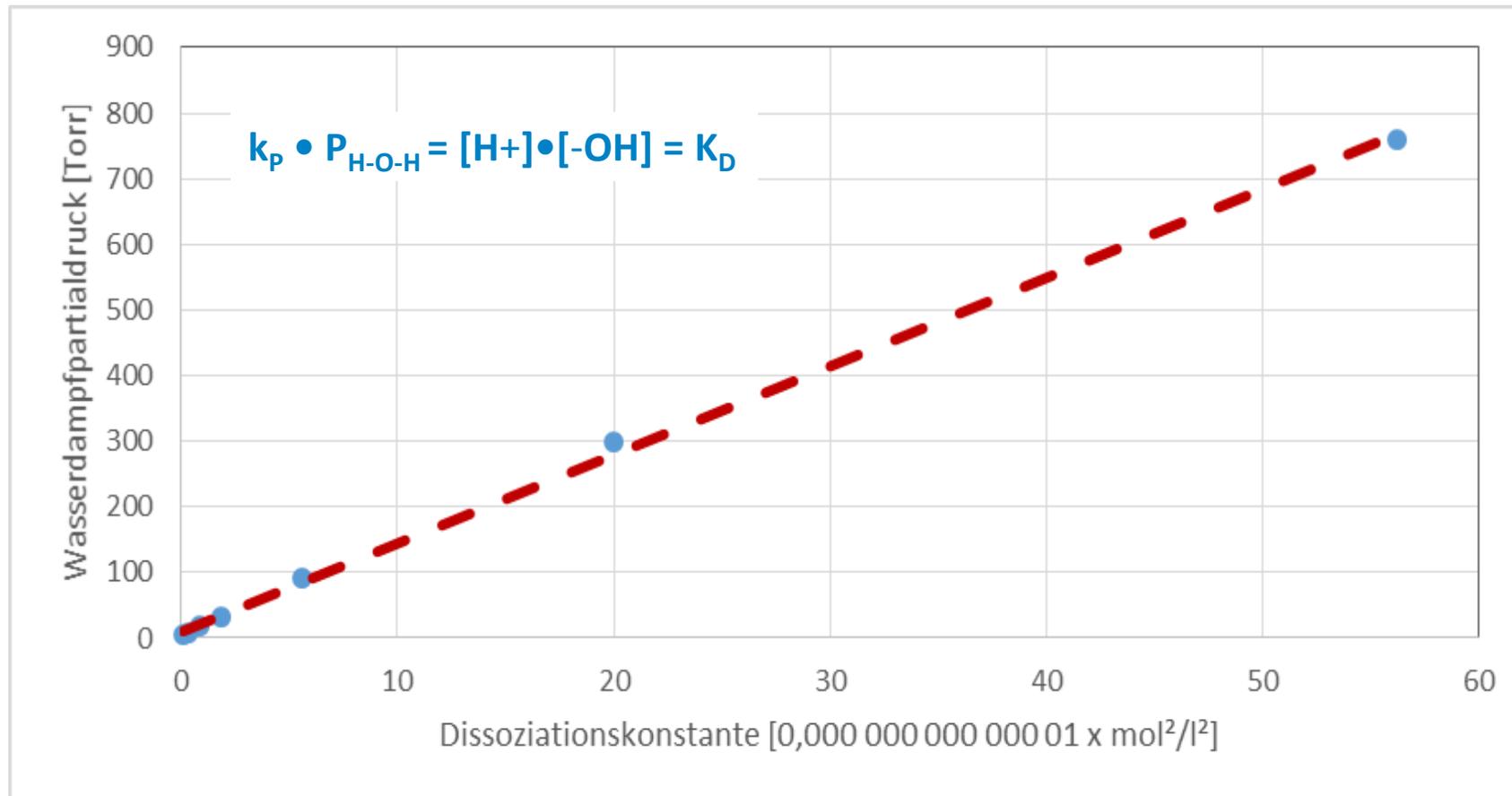
Osmotische Energie
(Osmotischer Druck)



Dissoziation

Moleküle 2. Art

Wasserdampfättigungspartialdruck als Funktion der Dissoziationskonstanten ($[H^+] \cdot [OH^-]$)



$$\text{Regel Nr. 1: } k_p \cdot P_{\text{H-O-H}} = [\text{H}^+] \cdot [-\text{OH}] = K_D$$

Bedeutung dieser Regel (Gleichung):

- $P_{\text{H-O-H}}$ ist deutlich besser dokumentiert als K_D
- $p_{\text{H-O-H}}$ ist als universelle Kenngröße zur Beschreibung des Wassers geeignet
- **Aussagen zur möglichen Dissoziation in der Eisstruktur sind möglich**

Temperatur [°C]	$P_{\text{H-O-H}} \text{ über Eis [Pa]}$	$P_{\text{H-O-H}} \text{ über Wasser [Pa]}$
0	611	611
-1	563	568
-5	402	422
-10	260	287
-20	103	126
-30	38	51
-40	12,8	19

→ H-O-H behindert
Eisbildung

$$k_P \cdot P_{\text{H-O-H}} = [\text{H}^+] \cdot [\text{-OH}] = K_D$$

$p_{\text{H-O-H}}$ ist als universelle Kenngröße zur Beschreibung des Wassers geeignet

Bilanzgleichung im Wasser: $X_{\text{H-O-H}} + X_{\text{Hydrat}} + X_{\text{bulk}} = 1$ ($X_{\text{H}^+} \times X_{\text{OH}^-} \ll 1$)
(X ... Molenbruch)

Man vergleiche die OSTWALD'sche Farben-Bilanzgleichung:

$$V + S + W = 1$$

[V...Vollfarbe; W...Weiß; S...Schwarz]

Im VE-Wasser gilt: $X_{\text{Hydrat}} \ll 1 \rightarrow X_{\text{H-O-H}} + X_{\text{bulk}} = 1$

Regel Nr. 2: $X_{\text{H-O-H}} = p_{\text{H-O-H}} / P_{\text{ges}}$

Eigenschaften, die dem „Bulk-Wasser“ (Eis) nicht zuordenbar sind

(Leitfähigkeit λ , Viskosität η , Brechungsindex bei 583 nm), hängen nur von $p_{\text{H-O-H}}$ ab.

Es gilt:

Regel Nr. 3: $d\lambda/\lambda = k_\lambda \cdot dP_{\text{H-O-H}}/P_{\text{H-O-H}} \rightarrow \ln \lambda = A_\lambda + k_\lambda \cdot \ln P_{\text{H-O-H}}$

Regel Nr. 4: $d\eta/\eta = k_\eta \cdot dP_{\text{H-O-H}}/P_{\text{H-O-H}} \rightarrow \ln \eta = A_\eta + k_\eta \cdot \ln P_{\text{H-O-H}}$

Anwendung auf Wasser und Pumpen

Verhältnis von äußerer Energieeinwirkung [Pumpleistung (P_L)/Volumenstrom des gepumpten Wassers (V_W)] zur **energetischen Stabilität des Wassers** [osmotische Energie $E(\pi)$ + statische Energie $E(P_{St})$, die sich aus dem Druck, der auf das Wasser einwirkt (P_{St}) multipliziert mit m/m, ergibt]

Regel Nr. 5:

$$P_L/V_W^* = E(\pi) + E(P_{St}) + X$$

* anstelle von P_L/V_W kann auch eine Druckdifferenz genommen werden, welche vom Wasser durchströmt wird, multipliziert mit m/m (bedeutsam für Trinkwasserversorgungs- und Filter-Systeme)

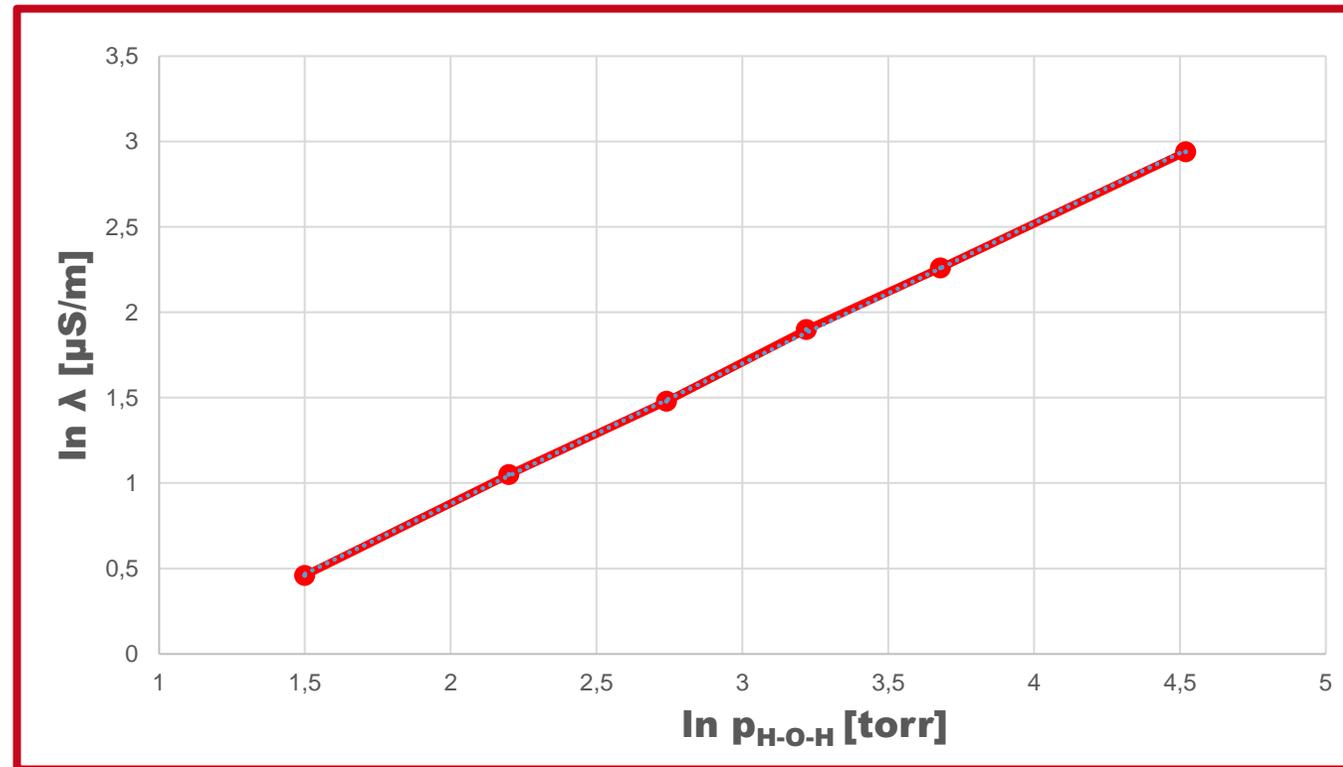
X überschüssige Energie → Wasserverdunstung – Bildung von Wasserdampfbläschen

Ohne Katalysator: wenige große Bläschen (Kavitation mit Materialschäden und Ablagerungen)

[Schlägerei auf dem Spielfeld mit Körperschäden und Müll]

Mit Katalysator: viele winzig kleine Bläschen („Dampfreinigung“) [spannendes Spiel]

Leitfähigkeit λ als Funktion des Wasserdampfättigungspartialdrucks

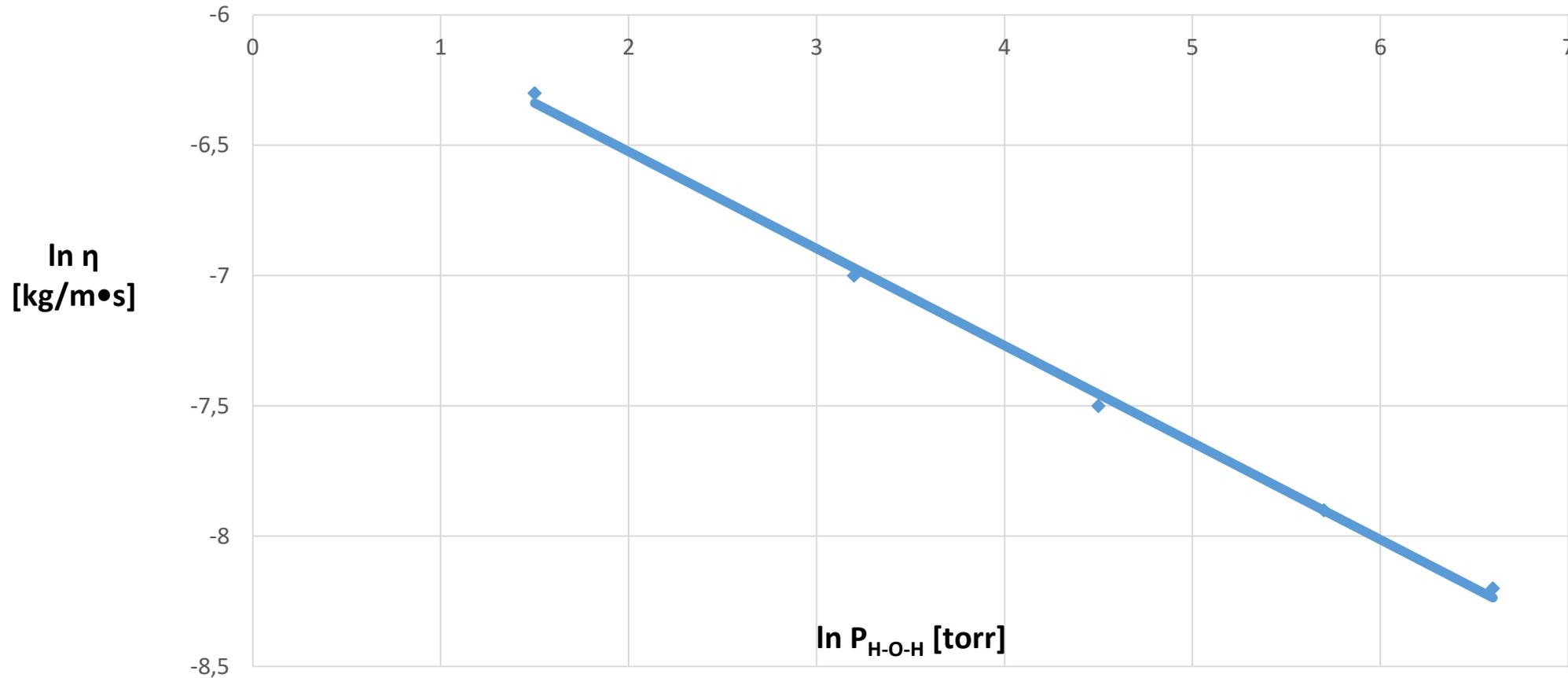


Dieser Zusammenhang ist insbesondere für **Elektrolysereaktionen** bedeutsam.

Wichtig:

Die Leitfähigkeit wird durch molekulares Wasser bedingt und nicht durch die im bulk-Wasser präsenten H-Brücken!

Viskosität η als Funktion des Wasserdampf-sättigungspartialdrucks



Dieser Zusammenhang ist für **Strömungs- und Filtervorgänge** bedeutsam.

$$k_p \cdot p_{\text{H-O-H}} = [\text{H}^+] \cdot [-\text{OH}] = K_D$$

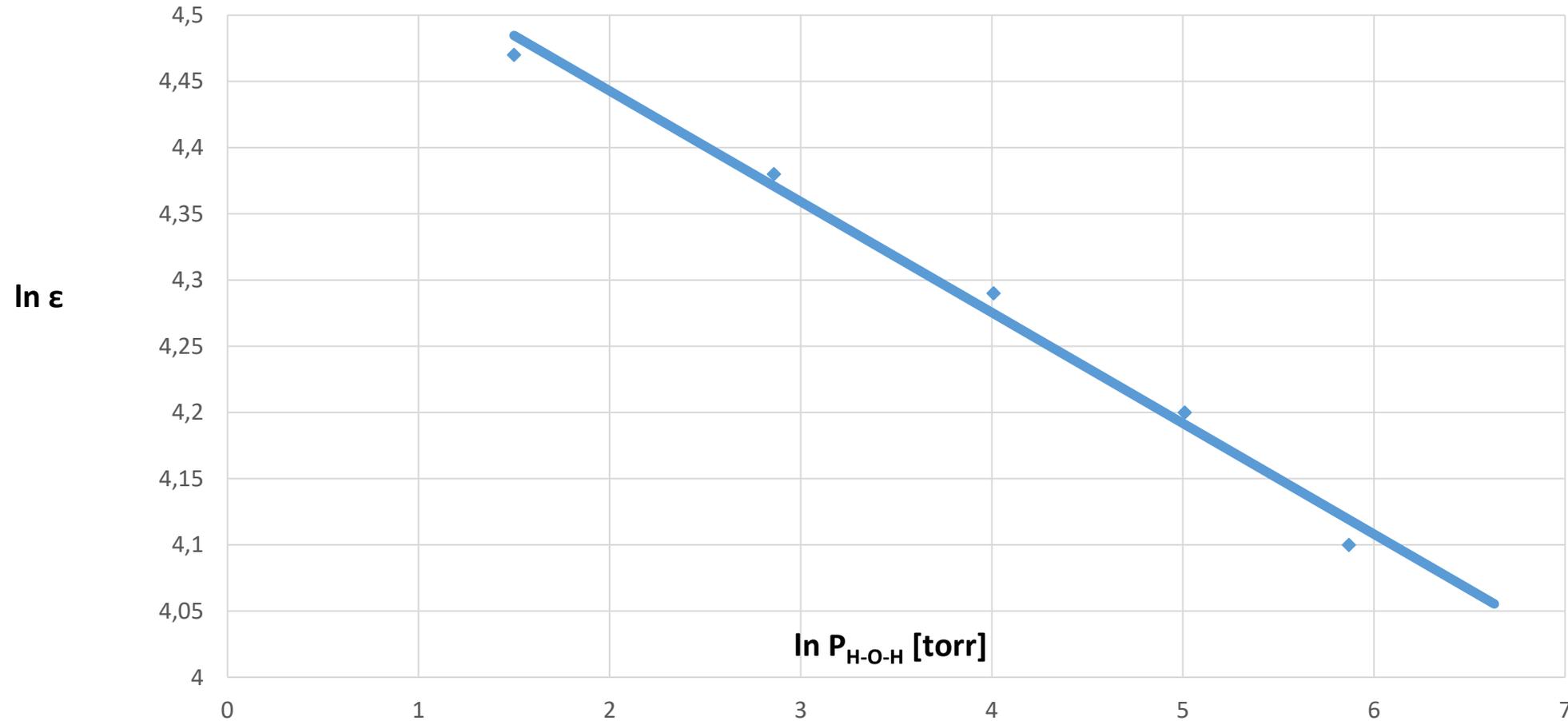
$p_{\text{H-O-H}}$ ist als universelle Kenngröße zur Beschreibung des Wassers geeignet

Eigenschaften, die nur dem „Bulk-Wasser“ (Eis) zuordenbar sind
(Dielektrizitätskonstante), hängen, da $X_{\text{H-O-H}} + X_{\text{bulk}} = 1$ ebenfalls stark von $p_{\text{H-O-H}}$ ab.

Es gilt:

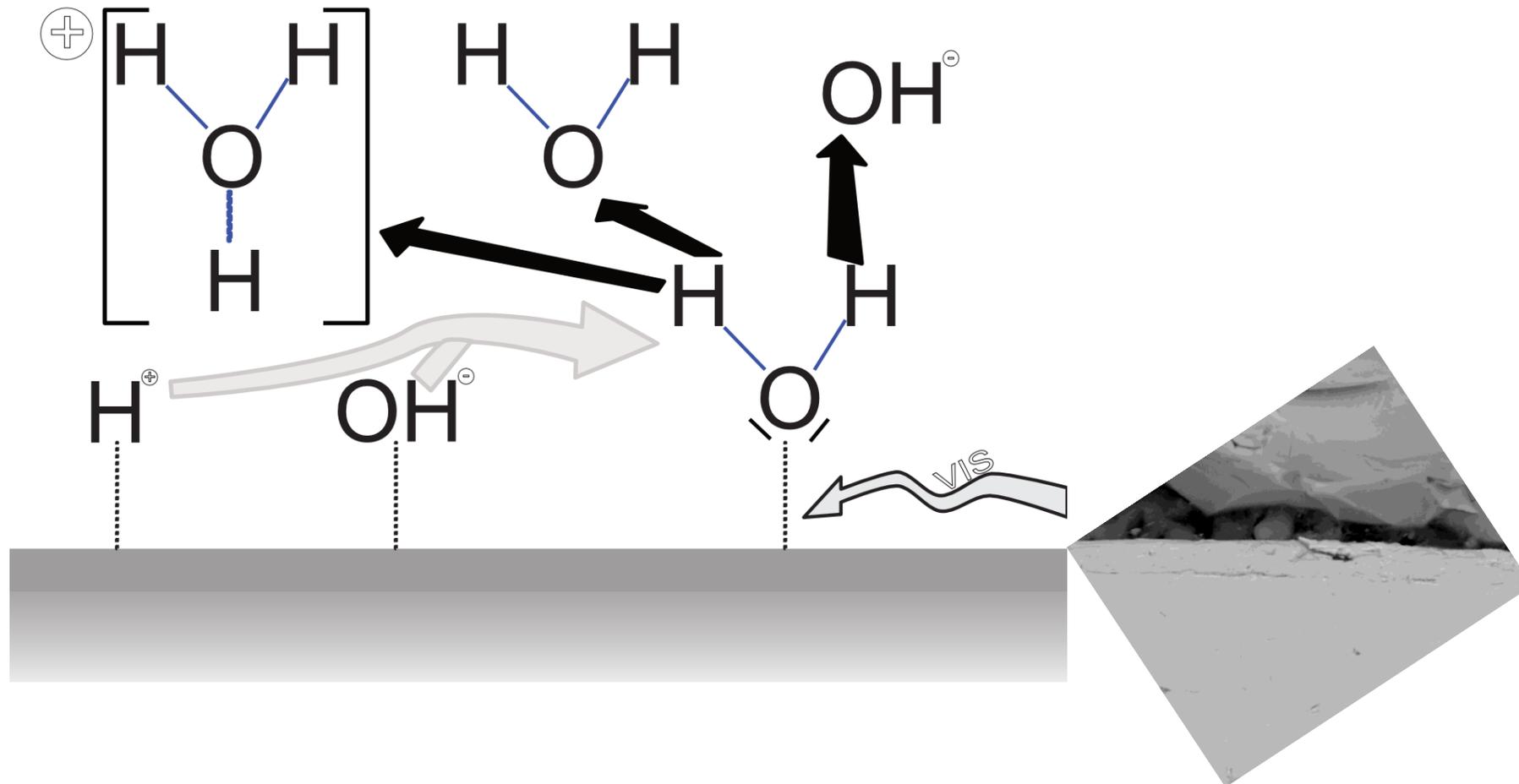
Regel Nr. 5: $d\varepsilon/\varepsilon = k_\lambda \cdot dP_{\text{H-O-H}}/P_{\text{H-O-H}} \rightarrow \ln \varepsilon = A_\varepsilon + k_\varepsilon \cdot \ln P_{\text{H-O-H}}$

Dielektrizitätskonstante ϵ als Funktion des Wasserdampfättigungspartialdrucks



Dieser Zusammenhang ist für **Elektrolysereaktionen** bedeutsam.

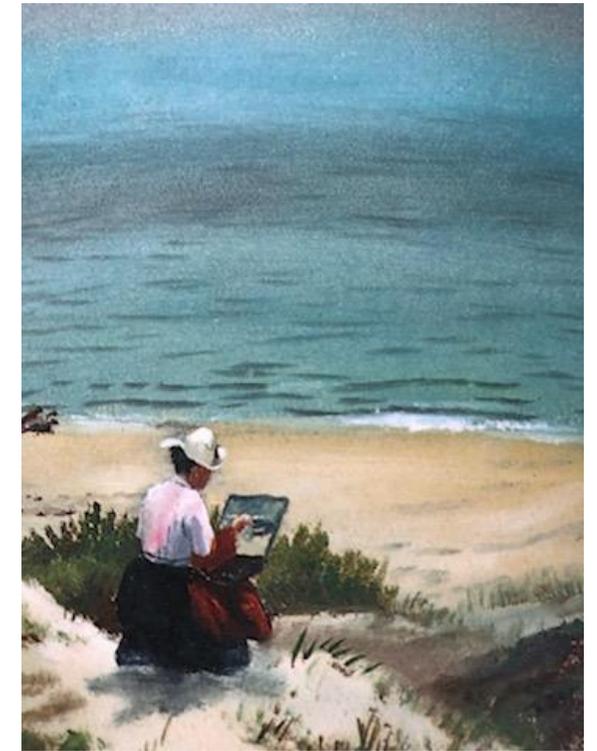
Katalysator: beschleunigt und ordnet das Spiel der Wasserstrukturen



Die Farbenlehre



Grete OSTWALD
OSTWALD beim Malen (Farbskizze von 1912)



OSTWALD malte gern und viel - vor allem mit Ölfarben
Es entstanden einige Tausend Bilder!

Die Farbenlehre

Isaak NEWTON (*4.1.1643, † 31.3.1727)

Spektralfarben



Johann Wolfgang von GOETHE (*28.8.1749, † 22.3.1832)

Körperfarben

Wilhelm OSTWALD (*2.9.1853, † 4.4.1932)

Spektralfarben und Körperfarben

Die Farbenlehre

OSTWALD'sche Bilanzgleichung der Farben:

$$\mathbf{V + S + W = 1}$$

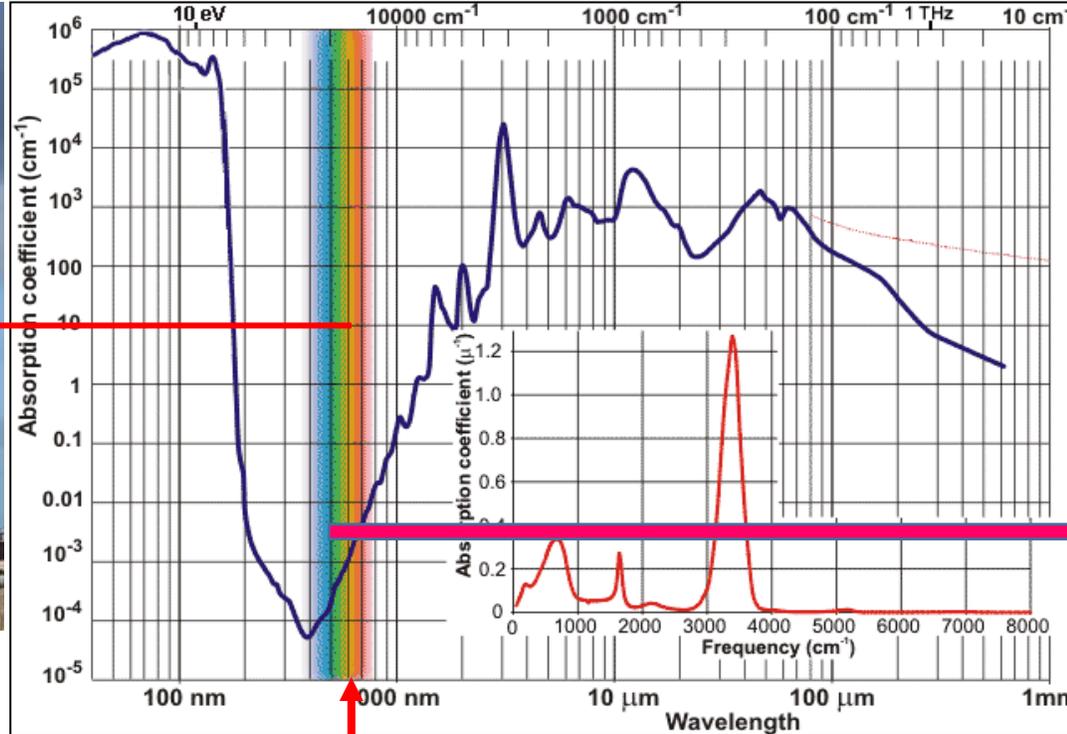
[V...Vollfarbe; W...Weiß; S...Schwarz]

Die Farbenlehre



Spektralfarben

Gelb: 1/20 des Spektrums
schwache Wirkung



589 nm Na-Linie

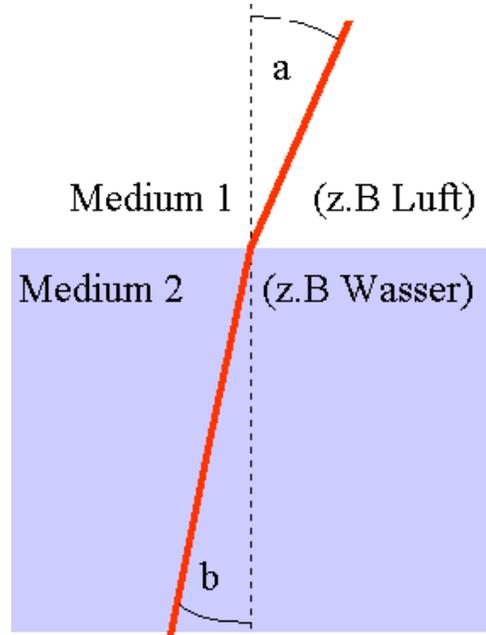


Körperfarben

Gelb: 9/10 des Spektrums
alle Farben außer der
Komplementärfarbe (Blau)
starke Wirkung

Wechselwirkung der Strahlung im VIS-Bereich: Elektronenpaare am molekularen Wasser!

Brechungsindex n als Funktion des Wasserdampfättigungspartialdrucks



$$\text{Brechungsindex} = \sin(a) / \sin(b)$$

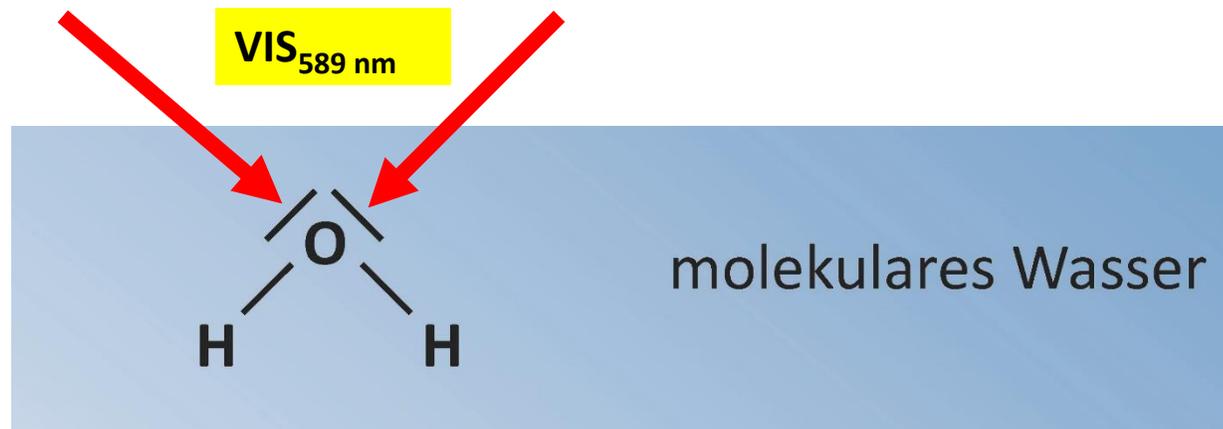
- je optisch dichter das Medium 2 (Wasser) wird,
- desto kleiner wird b
 - desto größer der Brechungsindex



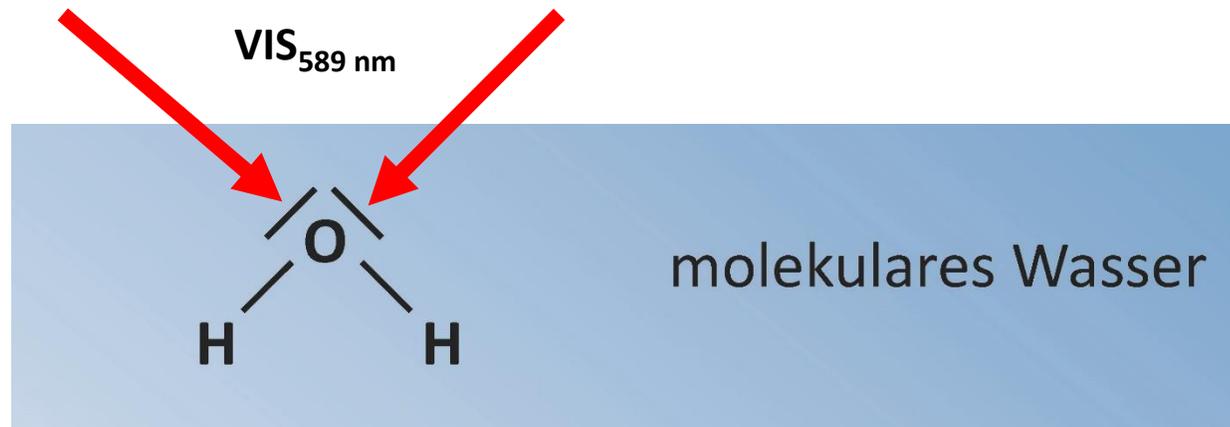
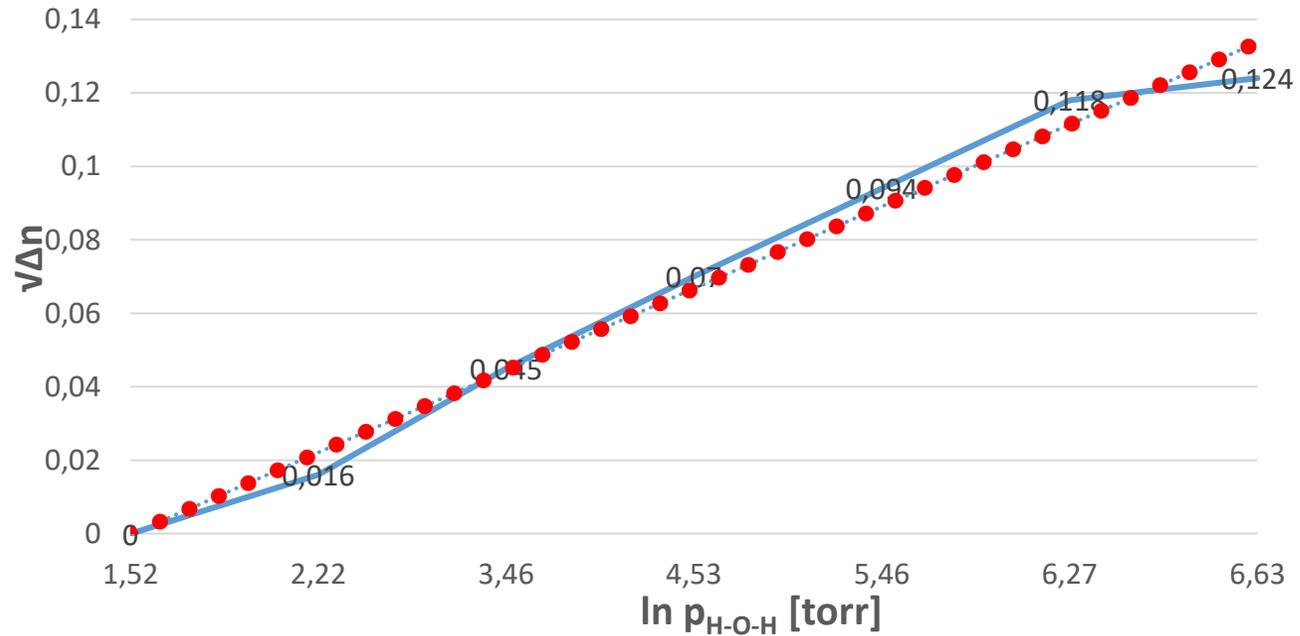
Gelb: Natrium

Rot-Orange: Calcium

Schwarz: Ruß



Brechungsindex n als Funktion des Wasserdampf-sättigungspartialdrucks





Bedeutung:

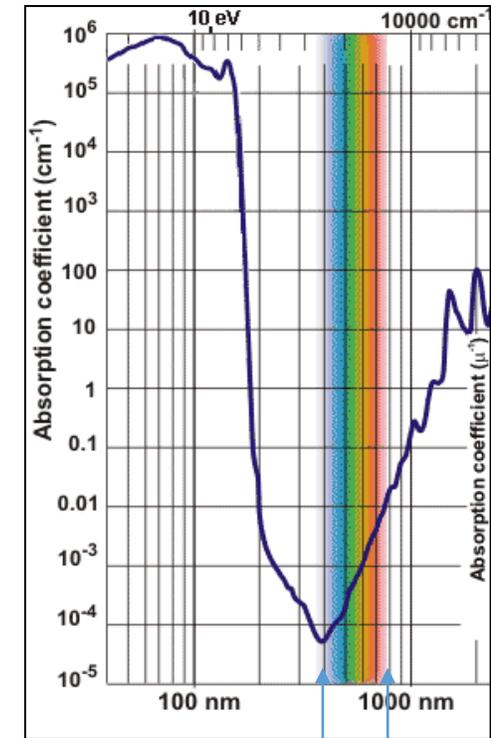
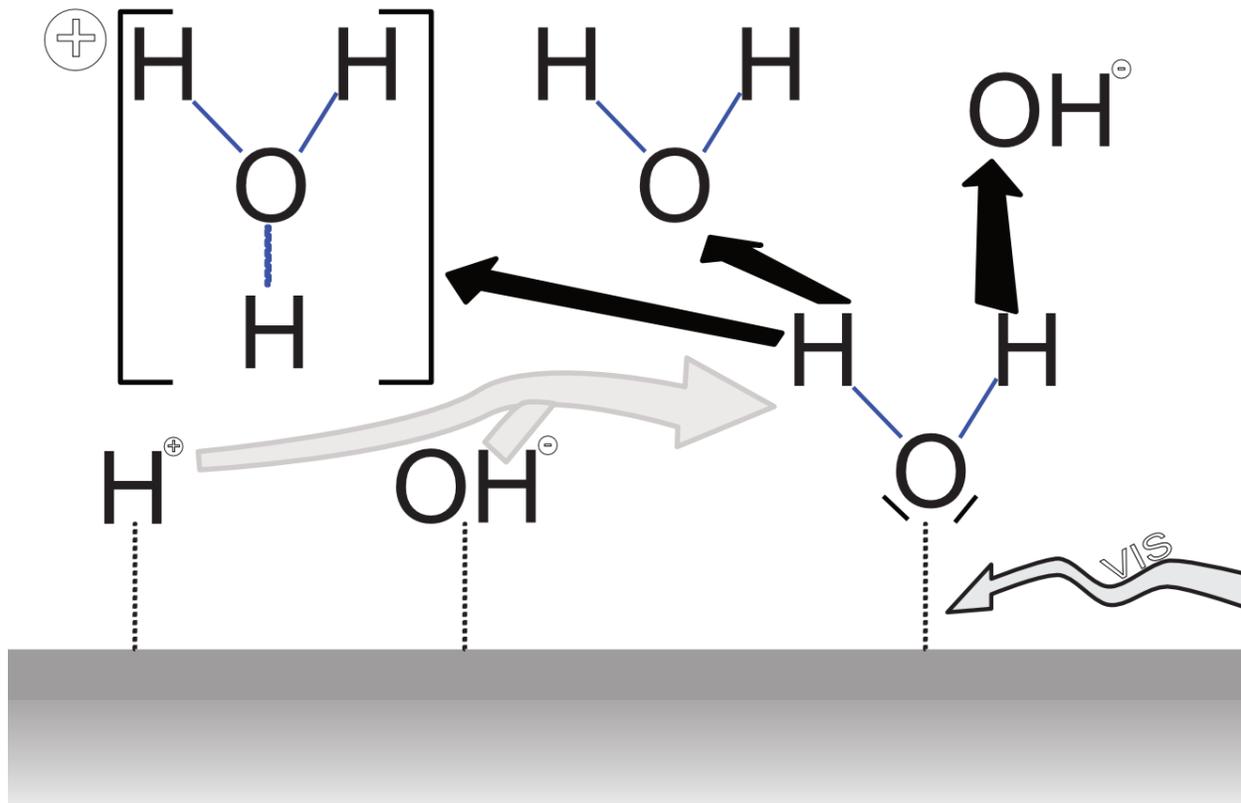
- 1. Möglichkeiten zur Aktivierung von molekularem Wasser mittels sichtbarem Licht**
- 2. Verständnis der Sicherheitsfolien (Gold-Silber)**
- 3. Möglichkeiten zur Untersuchung der Wasserstrukturen mittels sichtbarem Licht**

1. Möglichkeiten zur Aktivierung von molekularem Wasser mittels sichtbarem Licht

An der Katalysatoroberfläche wird molekulares Wasser gebildet!

Unter Zufuhr von VIS-Strahlung (sichtbares Licht) wird dieses Wasser aktiviert

wichtig: das gesamte Sichtbare Spektrum muss es sein (d.h. weißes Licht)



VIS-Bereich

Bedeutung:

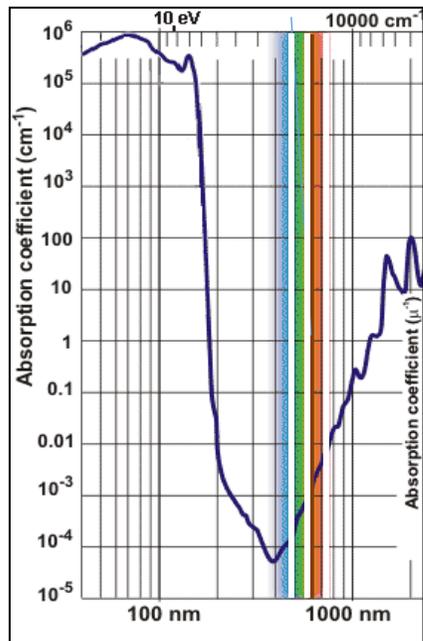
2. Verständnis der Sicherheitsfolien (Gold-Silber)

Goldene Seite:

Absorption (kühlt)

Brauntöne (Tertiärfarbe)

Viele „Lücken“ im VIS-Spektrum

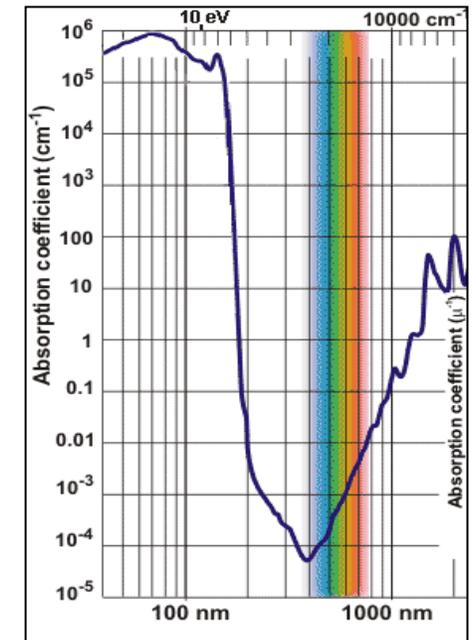


Silberne Seite:

Reflexion (wärmt)

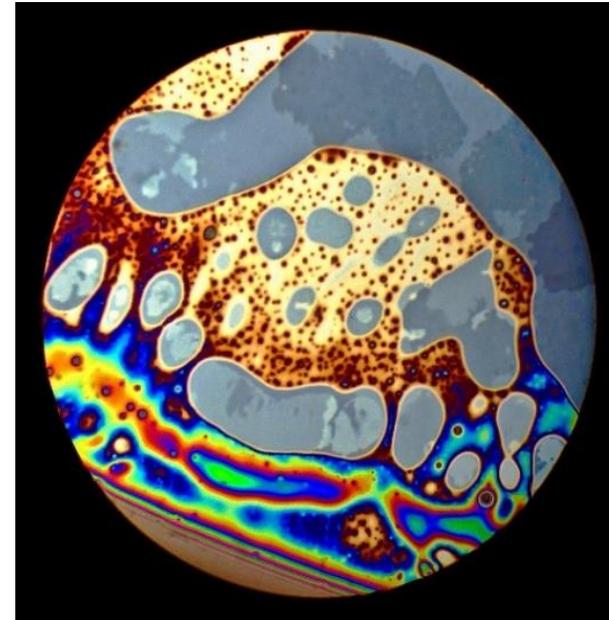
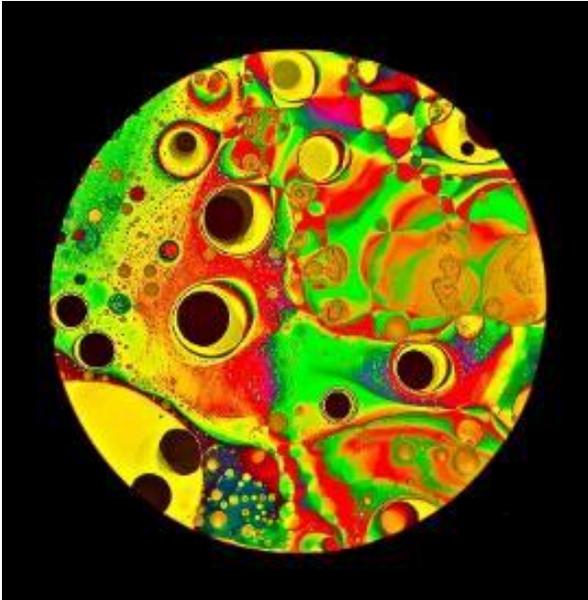
Weiß

Keine „Lücke“ im VIS-Spektrum



Bedeutung:

3. Möglichkeiten zur Untersuchung der Wasserstrukturen mittels sichtbarem Licht



Seifenhaut-Mikrofotos bei Raumtemperatur und bei -18 °C
[mit freundlicher Genehmigung von Jürgen SCHRODT]

OSTWALDs Leben in Gesichtern



Ostwald als Schüler



Ostwald als Student



Danke für die Aufmerksamkeit

