

Verein Schweizerischer Naturwissenschaftslehrerinnen und -lehrer (VSN)
Société Suisse des Professeurs de Sciences Naturelles (SSPSN)
Associazione Svizzera degli Insegnanti di Scienze Naturali (ASISN)
111. Jahrgang, Mai 2026



Berichte aus dem Verein / Actualités de la société

Concours de créations de logo pour la Commission Romande de Biologie (CRB)

L'Hydre, un modèle pour régénérer et ne jamais vieillir

BIO_BYOD

VisionScience

Zentralkurs 2026 in Köniz

chemTour 6: das deutsche Chemiemuseum in Merseburg und Ferropolis in Gräfenhainichen

Erfolgreiche Treffer bei chemischen Reaktionen

2



Zwei sehr unterschiedliche Ausstellungen / Deux expositions très différentes :

Page de couverture : le cadran solaire composé d'agitateurs au Musée allemand de la chimie de Merseburg (page 28)

Cette page : Chaque visiteur se fait sa propre idée de la recherche pharmaceutique sur le campus Novartis (page 10)

Titelseite: die Rührwerk-Sonnenuhr im Deutschen Chemie-Museum Merseburg (Seite 28)

Diese Seite: Jeder Besuchende schafft sich den eigenen Zugang zur Medikamentenforschung im Novartis-Campus (Seite 10)

	Inhalt	Contenu
VEREIN SOCIÉTÉ	<p>4 Aktuelle Mitteilungen aus dem VSN</p> <p>6 Bericht zu den Aktivitäten des VSN im Vereinsjahr 2024/2025</p> <p>8 Protokoll der VSN-GV 2025</p> <p>10 Jahresbericht der DBK 2025</p> <p>12 Jahresbericht der DCK 2025</p> <p>14 Die Deutschschweizer Biologiekommision braucht Verstärkung</p> <p>15</p>	<p>Dernières informations de la SSPSN</p> <p>Rapport sur les activités de la SSPSN durant l'année associative 2024/2025</p> <p>Procès-verbal de l'AG 2025 de la SSPSN</p> <p>Rapport annuel de la DBK 2025</p> <p>Rapport annuel de la DCK 2025</p> <p>Concours de créations de logo pour la Commission Romande de Biologie</p>
WEITERBILDUNG FORMATION CONTINUE	<p>16 Die Hydra, ein Vorbild für Regeneration und ewige Jugend</p> <p>18 BIO_BYOD</p> <p>20 VisionScience</p> <p>24 Zentralkurs 2026 in Köniz BE</p>	<p>L'Hydre, un modèle pour régénérer et ne jamais vieillir</p> <p>BIO_BYOD</p> <p>VisionScience</p> <p>Cours central à Köniz (BE)</p>
UNTERRICHT ENSEIGNEMENT	<p>28 chemTour 6: das deutsche Chemiemuseum in Merseburg und Ferropolis in Gräfenhainichen</p> <p>36 Erfolgreiche Treffer bei chemischen Reaktionen</p>	<p>chemTour 6 : le « Musée allemand de la chimie » à Merseburg et « Ferropolis » à Gräfenhainichen</p> <p>Résultats positifs dans les réactions chimiques</p>
ADRESSEN ADRESSES	<p>62 Verein, Vorstand, Impressum</p>	<p>Société, comité, impressum</p>

Liebe Kolleginnen und Kollegen, hier aktuelle Mitteilungen aus dem VSN:

Zentralkurs 2026 am Gymnasium Lerbermatt, Köniz (BE)

Mit dem Zentralkurs und seinen Angeboten zum Chemie- und Biologieunterricht im Gymnasium Lerbermatt, Köniz (BE) vom 7. bis 9. Oktober 2026 steht uns dieses Jahr wieder ein besonderes Ereignis bevor. Informiert Euch auf <https://zentralkurs.lerbermatt.ch/> und nehmt teil. Der Organisationskomitee sei bereits jetzt herzlich gedankt für die Vorbereitung.

4

visionScience – Kongress 2026 erfolgreich durchgeführt

Der Kongress mit einem fachübergreifenden Angebot aus Mathematik, Physik, Chemie, Biologie, Informatik und Geografie fand zwischen dem 22. – 24. Januar 2026 an der ETH Zürich auf dem Hönggerberg mit tatkräftiger Mithilfe und Teilnahme in Zusammenarbeit der MINT-Fachverbände statt. Ein Beitrag in diesem Heft berichtet davon.

14ème Journée de démonstrations de chimie à l'EPFL

Dieser traditionsreiche Anlass der Waadtländer Chemielehrerinnen und -lehrer wurde unter der Leitung von Cédric Reymond am 3. März wieder erfolgreich durchgeführt und hat, wie immer, schöne experimentelle Möglichkeiten aufgezeigt. Danke den Organisatoren.

Generalversammlung 2026 des VSN

Die Generalversammlung 2026 ist am Mittwochmittag, 7. Oktober, im Rahmen des Zentralkurses geplant. Genauere Angaben und die Traktanden werden auf der Website www.vsn.ch zu finden sein. Das Protokoll der GV 2025 und der Jahresbericht 2024/2025 finden sich in diesem Heft.

Chers collègues, voici les dernières informations de la SSPSN:

Cours central 2026 au lycée Lerbermatt, à Köniz (BE)

Avec le cours central et ses offres pour l'enseignement de la chimie et de la biologie au gymnase Lerbermatt, à Köniz (BE), du 7 au 9 octobre 2026, un événement particulier nous attend à nouveau cette année. Renseignez-vous sur <https://zentralkurs.lerbermatt.ch/> (Français) et participez. Nous remercions d'ores et déjà chaleureusement le comité d'organisation pour sa préparation.

visionScience – Congrès 2026 succès

Le congrès, proposant un programme interdisciplinaire couvrant les mathématiques, la physique, la chimie, la biologie, l'informatique et la géographie, s'est déroulé du 22 au 24 janvier 2026 à l'ETH Zurich, sur le Hönggerberg, en collaboration avec les sociétés de branche MINT. Un article dans ce numéro en rend compte.

14e Journée de démonstrations de chimie à l'EPFL

Cet événement traditionnel organisé par les professeurs de chimie vaudois s'est à nouveau déroulé avec succès le 3 mars sous la direction de Cédric Reymond et a, comme toujours, présenté de belles possibilités expérimentales. Merci aux organisateurs.

Assemblée générale 2026 de la VSN

L'assemblée générale 2026 est prévue le mercredi 7 octobre à midi, dans le cadre du cours central. Des informations plus détaillées et l'ordre du jour seront disponibles sur le site web www.vsn.ch. Le rapport annuel 24/25 se trouve dans ce numéro.

Foren zur Phagentherapie

Im Rahmen eines Projektes, welches zum Ziel hat, über die Phagen-Therapie zu informieren und eine breite Diskussion anzustossen, haben Studierende des Lehramts Biologie an der PH FHNW Unterrichtsmaterialien entwickelt. Die Thematik wird an Foren vorgestellt, das nächste wird am 9.5.2026 in Zürich stattfinden. Später werden Foren in der Romandie folgen. Informationen dazu, Unterlagen und die Möglichkeit, Workshops zu buchen finden Sie auf <https://phagenforum.ch/wissen-phagentherapie>.

Ich wünsche allen einen schönen Frühling und Sommer, mit herzlichem Gruss.

Klemens Koch, Präsident VSN, klemens.koch@gbsl.ch

Forums sur la thérapie par les phages

Dans le cadre d'un projet visant à informer sur la thérapie par les phages et à susciter un large débat, des étudiants en formation pour devenir professeurs de biologie ont élaboré du matériel pédagogique à la HEP FHNW. Le sujet est présenté lors de forums ; le prochain aura lieu le 9 mai 2026 à Zurich. D'autres forums suivront ensuite en Suisse romande. Vous trouverez des informations à ce sujet, de la documentation et la possibilité de réserver des ateliers sur <https://phagenforum.ch/wissen-phagentherapie>.

Je vous souhaite à tous un beau printemps et un bel été. Cordialement.

Klemens Koch, président SSPSN, klemens.koch@gbsl.ch

5

Les nouveaux membres. Bienvenue à la SSPSN ! Neue Mitglieder. Herzlich willkommen im VSN!

(nach Anmeldung auf www.vsn.ch):

Bader Lukas, Freies Gymnasium Bern
 Bieri Barbara, Kollegi Schwyz
 Birrer Maurus, Kantonsschule am Brühl SG
 Böhringer Daniel, RG Rämibühl (ZH)/ SBW Neue Medien
 Croci Torti Laura, Liceo Cantonale Mendrisio
 Gfeller Frank, Pädagogische Hochschule St. Gallen
 Hostettler Lola, Collège de Gambach (FR)
 Kanbur Canan, BZT Frauenfeld
 Maradan Wehren Stéphanie, ECGF (FR)
 Rohrer Christoph, Gymnasium St. Klemens (LU)
 Schwarz Carolin, PHBern
 Steinert Lukas, Freies Gymnasium Zürich
 Tobler Samuel, Kantonsschule Wil
 Werder Sarah, Bündner Kantonsschule Chur

Vereinigung Schweizerischer Naturwissenschaftslehrerinnen und –lehrer (VSN)
 Société Suisse des Professeurs de Sciences Naturelles (SSPSN)
 Associazione Svizzera degli Insegnanti di Scienze Naturali (ASISN)

Bericht zu den Aktivitäten des VSN im Vereinsjahr 2024/2025

Anlässlich der Generalversammlung des VSN am 25. Oktober 2025 an der PH Bern

Überblick

Der VSN vertritt die Interessen der Mitglieder, z. B. bei Entwicklung von Stundentafeln und Lehrplänen, vernetzt und informiert z. B. mit dem Bulletin c+b, der Webseite und bei Kursen und bietet Weiterbildungen (siehe Kommissionsberichte) an.

Mitglieder und Vorstand

Die Mitgliederzahl ist seit Oktober 2024 um 9 Mitglieder auf 595 Mitglieder gestiegen. Mehr zuwachsen würden wir vor allem gerne in der Romandie und bei den Biologielehrpersonen, um die Repräsentation zu verbessern.

Der Vorstand war 2024/25 zusammengesetzt aus Andreas Bartlome (Präsident DCK), Michael Bleichenbacher (c+b), Stefan Mundwiler (c+b), Manuel Fragnière (vice-président et caissier CRC), Christine Guesdon Lüthi, Benita Heiz (Kassierin), Emmanuel Marion-Veyron (président CRC), Anne-Laure Rauber (présidente CRB), Silvia Reist (Präsidentin DBK) sowie Klemens Koch (Präsident VSN, Vorsitz). Die Mitgliederverwaltung wird zu einem grossen Anteil von Hansruedi Dütsch geführt, die Mutationen auch von Andreas Bartlome nachgeführt und für die Rechnungsrevision zuständig sind Régis Turin und Martin Rufer.

Der Vorstand hat am 10. Mai 2025 an der PHBern und am 10. September 2025 via Zoom getagt und die hier berichteten Aktivitäten diskutiert und verfolgt, sowie die Generalversammlung vorbereitet.

Rapport sur les activités de la SSPSN durant l'année associative 2024/2025

Aperçu

La SSPSN défend les intérêts de ses membres, notamment lors de l'élaboration des grilles horaires et des programmes d'études ; elle assure la mise en réseau et l'information, par exemple via le bulletin c+b, son site web et lors de cours, et propose des formations continues (voir les rapports des commissions).

Membres et comité directeur

Depuis octobre 2024, le nombre de membres a augmenté de 9 pour atteindre 595 membres. Nous souhaiterions surtout voir nos effectifs croître en Suisse romande et parmi les professeurs de biologie afin d'améliorer notre représentativité.

En 2024/25, le comité était composé d'Andreas Bartlome (président DCK), Michael Bleichenbacher (c+b), Stefan Mundwiler (c+b), Manuel Fragnière (vice-président et trésorier CRC), Christine Guesdon Lüthi, Benita Heiz (trésorière), Emmanuel Marion-Veyron (président CRC), Anne-Laure Rauber (présidente CRB), Silvia Reist (présidente DBK) ainsi que Klemens Koch (président VSN, présidence). La gestion des membres est en grande partie assurée par Hansruedi Dütsch, les mutations sont également mises à jour par Andreas Bartlome, tandis que Régis Turin et Martin Rufer sont chargés de la révision des comptes.

Réseau et communication

Les quatre commissions spécialisées, à savoir celles de biologie et de chimie, de la Suisse romande et de la Suisse alémanique (CRB, CRC, DBK et DCK), ont apporté leur contribution. Elles ont rédigé leurs propres rapports.

Vernetzung und Kommunikation

Die vier Fachkommissionen, der Biologie bzw. Chemie, der Romandie, bzw. der Deutschschweiz (CRB, CRC, DBK und DCK) leisten einen Grossteil der Arbeit. Sie haben eigene Berichte verfasst.

Wir sind in der Akademie der Naturwissenschaften SCNAT im Präsidium der Plattform Chemie, in der Nachwuchskommission der SCNAT sowie in der Division of Chemical Education der Schweizerischen Chemischen Gesellschaft vertreten. Wir pflegen die Zusammenarbeit mit dem Verein Schweizerischer Mathematik- und Physiklehrkräfte VSMP, anderen Fachverbänden und unseren Schwesterorganisationen in Deutschland (MNU), Österreich (VCÖ), Frankreich (UdPPC) und dem französischsprachigen Belgien (ABPPC), wo wir nach Möglichkeiten auch die Tagungen und Kongresse besuchen.

Als Fachverband des Vereins Schweizerischer Gymnasiallehrpersonen VSG arbeiten wir mit ihm zur Bildungspolitik und Standesvertretung in Stellungnahmen, Präsidentenkonferenzen und der Delegiertenversammlung mit. Wo nötig, vertreten wir unsere Minderheitspositionen selbst.

Das c+b erscheint weiter in einem attraktiven Layout, alle Mitglieder sind aufgefordert Beiträge einzusenden. Die Webseite informiert über aktuelle Anlässe, enthält Grundlagenpapiere und die Möglichkeit, Mutationsmeldungen auf einem Formular elektronisch einzureichen.

Der mit uns verbundene, aber eigenständig geführte VSN-Shop hat in der Schweiz und darüber hinaus Bedeutung für Lehrmittel im Chemieunterricht.

Projekte

In vielen Kantonen werden jetzt die Lehrpläne erstellt und neue Umsetzungen und Angebote vorbereitet. Wir tauschen darüber aus und unterstützen uns.

Nous sommes représentés au sein de l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT) au sein du comité directeur de la plateforme Chimie, de la commission de la relève de la SCNAT ainsi que de la Division of Chemical Education de la Société suisse de chimie. Nous entretenons une collaboration avec la Société Suisse des Professeurs de Mathématiques et de Physique (SSPMP), d'autres associations professionnelles et nos organisations sœurs en Allemagne (MNU), en Autriche (VCÖ), en France (UdPPC) et en Belgique francophone (ABPPC), où nous assistons également, dans la mesure du possible, aux réunions et congrès.

En tant qu'association professionnelle de la Société Suisse des Professeurs de l'Enseignement du Secondaire (SSPES), nous collaborons avec elle sur les questions de politique éducative et de défense des intérêts de la profession dans le cadre de prises de position, de conférences des présidents et de l'assemblée des délégués. Lorsque cela s'avère nécessaire, nous défendons nous-mêmes nos positions minoritaires.

Le c+b continue de paraître dans une mise en page attrayante ; tous les membres sont invités à envoyer des contributions. Le site web informe sur les événements actuels, contient des documents de référence et offre la possibilité de soumettre électroniquement les changements d'adresse via un formulaire.

Le VSN-Shop, qui nous est affiliée mais gérée de manière indépendante, s'est entre-temps fait un nom dans le domaine du matériel pédagogique pour l'enseignement de la chimie.

Projets

Dans de nombreux cantons, on élabore actuellement les programmes scolaires et on prépare de nouvelles mesures et de nouvelles offres.

Weiterbildung und andere Aktivitäten

8 Unsere Angebote waren wieder sehr vielfältig, alle Kommissionen haben Kurse durchgeführt, der Zentralkurs 2026 wird vorbereitet und die Tagung «VisionScience», bei der mehrere von uns mitwirken. Der Journée de démonstrations an der EPFL wurde wieder durchgeführt.

Einen herzlichen Dank allen, welche die Ziele des Vereins durch ihre Mitgliedschaft und Mitarbeit in den Kommissionen, Ressorts und im Vorstand unterstützen.

Klemens Koch, Präsident

Protokoll der VSN-GV 2025, am Sa. 25. Oktober 2025, 10.15-12.00 PHBern, PHBern, Fabrikstrasse 8, 3012 Bern, Raum C305. Etwa 25 Mitglieder sind anwesend

1. Die **Traktandenliste** der GV wird unverändert genehmigt. Das Protokoll der GV 2024 wird genehmigt.
2. Die verlesenen **Jahresberichte** des VSN 2024/25 und der Kommissionen (im c+b abgedruckt) werden genehmigt.
3. Die **Amtsperiode für den Vorstand und die Rechnungsprüfer** geht bis 2026, dann werden wieder Bestätigungswahlen durchgeführt. Unter der Zeit standen folgende Wahlen an: Nachfolge Betreuung website: konnte noch nicht bestimmt werden. Nachfolge Redaktion c+b: Stefan Mundwiler. Die beiden werden von der GV bestätigt. Michael Bleichenbacher wird für die geleistete Arbeit in beiden Ressorts und die viele weitere im VSN gedankt.

4. Vereinsrechnung und Revision

1. **Gesamtvermögen: CHF 95762.82.** Dies umfasst das gesamte Umlaufvermögen des Vereins
2. **Flüssige Mittel: CHF 83262.82.**
3. **Jahresgewinn: CHF 903.27.**
Ergebnis des laufenden Geschäftsjahres, das dem Vereinsvermögen hinzugefügt wird.

Formation continue et autres activités

Nos offres ont une nouvelle fois été très variées : toutes les commissions ont organisé des cours, le cours central 2026 est en cours de préparation et le congrès « VisionScience » à l'EPFZ, auquel plusieurs d'entre nous participent, se profile. La Journée de démonstrations à l'EPFL a de nouveau eu lieu.

Un grand merci à tous ceux qui soutiennent les objectifs de la société par leur adhésion et leur collaboration au sein des commissions, des différents domaines de travail et du comité.

Klemens Koch, président

Procès-verbal de l'AG 2025 de la SSPSN, samedi 25 octobre 2025, 10h15-12h00 PHBern, PHBern, Fabrikstrasse 8, 3012 Berne, salle C305. Environ 25 membres sont présents.

1. **L'ordre du jour** de l'AG est approuvé sans modification. Le procès-verbal de l'AG 2024 est approuvé.
2. **Les rapports annuels** de la SSPSN 2024/25 et des commissions (imprimés dans le « c+b ») sont approuvés.
3. **Le mandat du comité et des vérificateurs des comptes** s'étend jusqu'en 2026, date à laquelle des élections de confirmation auront lieu. Les élections suivantes étaient prévues pendant la période :
Succession pour la gestion du site web : n'a pas encore pu être déterminée. Succession pour la rédaction c+b : Stefan Mundwiler. Les deux sont confirmés par l'AG. Nous remercions Michael Bleichenbacher pour le travail accompli dans ces deux domaines et pour tout ce qu'il a fait pour la SSPSN.

4. Comptes de l'association et révision

1. **Actif total : CHF 95 762,82.** Ce montant comprend l'ensemble des actifs circulants de l'association.
2. **Liquidités : CHF 83 262,82**
3. **Bénéfice annuel : CHF 903,27.** Résultat de l'exercice en cours, qui sera ajouté au patrimoine de l'association.

4. Ergänzende Analyse

Einnahmen: Ein bedeutender Teil der Einnahmen stammt aus Mitgliederbeiträgen und Sponsoring einnahmen.

Grösster Ausgabenposten: Der größte Einzelposten bei den Ausgaben ist der Aufwand für das c+b mit CHF -5'989.91

Die beiden Revisoren haben die Rechnungen geprüft und berichten, dass die Rechnung ordnungsgemäss geführt worden sei und dem Gesetz und den Statuten des Vereins entspreche. Die ausgewiesenen Saldi stimmen mit den Kontoauszügen per 31.07.2025 überein. Die Buchungen sind durch entsprechende Quittungen und Abrechnungen belegt.» Sie empfehlen die Genehmigung der Rechnung mit Dank an die Kassierin, Benita Heiz, und ihr sowie dem Vorstand die Decharge zu erteilen. Die GV nimmt die Rechnung an und erteilt die empfohlene Decharge mit Dank an die Benita Heiz.

5. Neu-Konzeption Webseite: Der Vorstand erhebt Bedürfnisse, prüft verschiedene Möglichkeiten der Umsetzung und beantragt dafür einen Umsetzungskredit mit einem Kostendach von 15'000.-

Von den anwesenden Mitgliedern werden folgende Spezifikationen als wünschenswert genannt:

- Content-Management-System (CMS)
- (Wieder) Formulare für die Anmeldung und Mutationen (allenfalls mit Link zur Datenbank, um aktuelle Angaben einzusehen)
- Anmeldeformulare für Kurse

Der Vorstand wird mit der weiteren Planung und Realisierung beauftragt, der Umsetzungskredit mit einem Kostendach von 15'000.- wird von der GV genehmigt

6. Anlässe 2025/26: Die Weiterbildungsanlässe werden weiter über die Webseite(n) und das c+b verbreitet.

7. Mitteilungen und Varia. Keine

4. Analyse complémentaires:

Recettes : une part importante des recettes provient des cotisations des membres et des revenus de sponsoring.

Principal poste de dépenses : Le poste le plus important en termes de dépenses est celui des frais liés au c+b, avec CHF -5 989,91.

Les deux vérificateurs ont examiné les comptes et indiquent que ceux-ci ont été tenus conformément à la loi et aux statuts de l'association. Les soldes indiqués correspondent aux relevés de compte au 31 juillet 2025. Les écritures comptables sont justifiées par les reçus et les décomptes correspondants. Ils recommandent d'approuver les comptes et de remercier la trésorière, Benita Heiz, ainsi que le comité directeur. L'AG approuve les comptes et donne décharge à Benita Heiz, en la remerciant.

5. Nouvelle conception du site web : le comité recueille les besoins, examine différentes possibilités de mise en œuvre et demande un crédit de mise en œuvre d'un montant maximal de 15 000 francs.

Les membres présents mentionnent les éléments suivantes comme souhaitables :

- un système de gestion de contenu (CMS)
- des formulaires (à nouveau) pour les inscriptions et de modification (éventuellement avec un lien vers la base de données pour consulter les informations actuelles)
- des formulaires d'inscription aux cours

Le comité est chargé de la planification et de la réalisation, le crédit de mise en œuvre avec un plafond de 15 000 CHF est approuvé par l'AG.

6. Événements 2025/26 : Les événements de formation continue continueront d'être diffusés sur le(s) site(s) web et dans le c+b.

7. Communications et divers. Aucune.

Klemens Koch, 29 décembre 2025

Jahresbericht der DBK 2025

Die DBK (Deutschscheizer Biologiekommision) traf sich zu drei Sitzungen: 25. Januar, 21. Juni (per Zoom) und am 06. September 2025.

Infostand am BCN

Am BCN (BiovalleyCollegeNetwork) vom 05. April 25 in Basel war die DBK wieder mit einem Informationsstand vertreten. Diesmal war es ein Tierversuch mit Mehrwürmern, der die Besuchenden lockte und zu Diskussionen anregte.

10

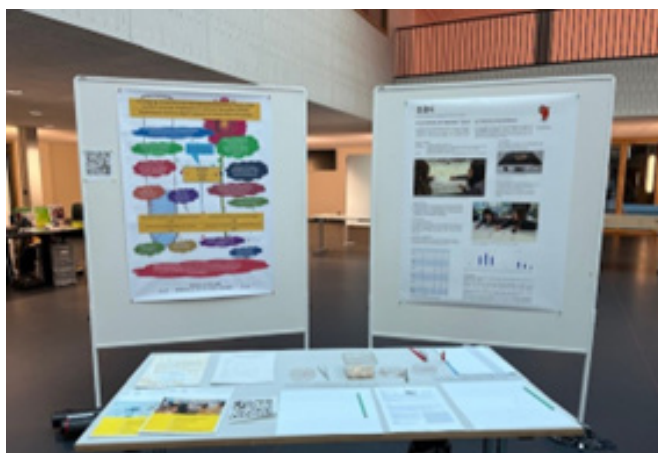


Abb. 1: Der DBK- Informationsstand am BCN 2025 mit dem Plakat um Mehlwurmversuch (rechts) und dem Versuchsmaterial auf dem Infotisch.

Fig. 1 : Le stand d'information de la DBK au BCN 2025 avec l'affiche sur l'expérience avec les vers de farine (à droite) et le matériel expérimental sur la table d'information.

Weiterbildung in Basel

Am 6. September lud die DBK zu einer ganztägigen Weiterbildung nach Basel ein. Zum einen wurde die Ausstellung «Wonders of Medicine» im Pavillon des Novartis Campus besucht (Abb. Seite 2), zum anderen fand eine Führung durch das Pharmaziemuseum in Basel statt. Begleitet wurde die DBK ganztägig von Charlotte Lamboing und Andrea Mackensen. Beide sind Mitarbeitende des Klett Verlags und in der Lehrmittelentwicklung tätig.

Neben dem Kennenlernen DBK-Mitglieder sammelten die Beiden vor allem Anforderungen, und Wünsche ein neues Klett Natura-Biologielehrmittel.

Rapport annuel de la DBK 2025

La DBK (Deutschscheizer Biologiekommision) s'est réunie à trois reprises : le 25 janvier, le 21 juin (via Zoom) et le 6 septembre 2025.

Stand d'information au BCN

La DBK était à nouveau représentée avec un stand d'information au BCN (BiovalleyCollegeNetwork) le 5 avril 2025 à Bâle. Cette fois-ci, c'est une expérience sur des vers de farine qui a attiré les visiteurs et suscité des discussions.



Abb.2: Der Austausch und die Informationen am BCN-Stand werden rege benutzt und geschätzt. Renato Nanni (vorne) und Dieter Burkhard sind engagiert dabei.

Fig. 2 : Les échanges et les informations fournis au stand de BCN sont très appréciés et largement utilisés. Renato Nanni (au premier plan) et Dieter Burkhard s'y investissent avec enthousiasme.

Formation continue à Bâle

Le 6 septembre 2025, la DBK a organisé une journée de formation continue à Bâle. Les participants ont d'abord visité l'exposition « Wonders of Medicine » dans le pavillon du campus Novartis (Fig. page 2), puis ont suivi une visite guidée du Musée de la pharmacie de Bâle. La DBK a été accompagnée toute la journée par Charlotte Lamboing et Andrea Mackensen. Toutes deux travaillent chez Klett Verlag et sont actives dans le développement de matériel pédagogique. En plus de faire connaissance avec les membres de la DBK,

DBK- Mitglieder-Suche

Es ist uns ein dringendes Anliegen die Mitgliederzahl zu erhöhen. Die Mitgliedersuche erweist sich jedoch als schwierig. Seit ihrer Neugründung 2018 ist die Mitgliederzahl der DBK von neun auf fünf geschrumpft. Zurückgetreten sind im 2025 Andreas Meier, der in Pension geht und Manuela Varini, die im Tessin die Stelle gewechselt hat. Im 2026 wird Silvia Reist nach acht Jahren DBK-Kommissionsarbeit per GV 2026 das Präsidium der DBK weiterreichen. Bisher konnte noch keine Nachfolgerin/ Nachfolger für dieses Amt gefunden werden.

Biologietag am Zentralkurs 2026 Köniz

Die DBK möchte mit einem Weiterbildungstag am Zentralkurs präsent sein. Das Programm wird sich aus einem Plenarvortrag und verschiedenen Workshops zusammensetzen und in Köniz stattfinden.

DBK-Mitglieder 2025

Silvia Reist, Kantonsschule Beromünster LU, Präsidentin
 David Stadler, Kantonsschule Sursee LU, Vizepräsident
 Dieter Burkhard, Gymnasium Heerbrugg SG
 Christian Kofmel, Gymnasium Liestal BL
 Andreas Meier, Kantonsschule Musegg LU und Fachdidaktik PH Bern (Austritt September 25)
 Renato Nanni, Gymnasium Kirchenfeld BE
 Manuela Varini, Liceo Cantonale Lugano, TI (Austritt im August 25)

Sursee, 24.10.25. Silvia Reist, Präsidentin der DBK



elles ont surtout recueilli les exigences et les souhaits concernant un nouveau support pédagogique Klett Natura sur la biologie.

Recherche de membres pour la DBK

Il est urgent pour nous d'augmenter le nombre de nos membres. Cependant, la recherche de nouveaux membres s'avère difficile. Depuis sa refondation en 2018, le nombre de membres de la DBK est passé de neuf à cinq. Andreas Meier, qui prend sa retraite, et Manuela Varini, qui a changé d'emploi au Tessin, ont démissionné en 2025.

En 2026, après huit ans de travail au sein de la commission DBK, Silvia Reist quittera la présidence de la DBK lors de l'AG 2026. À ce jour, aucun successeur n'a encore été trouvé pour reprendre cette fonction.

Journée de biologie au cours central 2026 à Köniz

La DBK souhaite être présente au cours central avec une journée de formation continue. Le programme comprendra une conférence plénière et divers ateliers et se déroulera à Köniz.

Membres de la CDB 2025

Silvia Reist, École cantonale de Beromünster LU, présidente
 David Stadler, École cantonale de Sursee LU, vice-président
 Dieter Burkhard, Gymnase de Heerbrugg SG
 Christian Kofmel, Gymnase de Liestal BL
 Andreas Meier, École cantonale Musegg LU et didactique spécialisée PH Berne (départ en septembre 25)
 Renato Nanni, Gymnase Kirchenfeld BE
 Manuela Varini, Liceo Cantonale Lugano, TI (départ en août 2025)

Sursee, 24.10.25, Silvia Reist, présidente de la DBK

Abb. 3: An der Führung durch das Pharmaziemuseum faszinierte die Geschichte der kuriosen Präparate besonders.

Fig. 3 : Lors de la visite guidée du Musée de la pharmacie, l'histoire des préparations curieuses a particulièrement fasciné les participants.

Jahresbericht der DCK 2025

12

Die Deutschschweizer Chemiekommission besteht Ende Jahr aus folgenden 19 Mitgliedern: Dana Antoniadis (ZH), Patrick Aschwanden (Weiterbildung, ZH), Amadeus Bärtsch (Fachdidaktik ETH, ZH), Urs Bienz (Zentralkurs 2028, BS), Michael Bleichenbacher (ZH), Stefan Bosshart (TG), Basil Denzler (Zentralkurs 2024, ZH), Stefan Dolder (Facilitateur ZEM + Zentralkurs 2026, BE), Hansrudolf Dütsch (Weiterbildung, VSN-Shop, ZH), Jann Frey (BL), Benita Heiz (Kassiererin VSN, AG), Vesna Klingel (TG), Klemens Koch (Präsident VSN, BE), Patrik Locher (SO), Markus Müller (Zentralkurs 2030+SCG, TG), Stefan Mundwiler (Redaktor c+b, LU), Jonas Schönle (AI), Martina Zürcher (ZG) und Andreas Bartlome (Präsident DCK, LU).

Weiterbildung

Auch 2025 wurden wieder dezentrale Kurse mit einem vielfältigen Themenspektrum angeboten und mehrfach erfolgreich durchgeführt: «Escape-Games», «CU zu Klimawandel und Energiewende», «Chemie kann schmecken» oder «Analoge Spiele und Aufgaben für den CU».

Ein Sicherheitskurs gemeinsam mit der Chemsuisse (Herausgeber des Sicherheitsleitfadens für Schulen) ist für den nächsten Zentralkurs angedacht.

Das OK zum Zentralkurs 2026 am Gymnasium Lerbermatte in Köniz bei Bern ist bereits intensiv an der Planung und Organisation des nächsten Grossanlasses. Reservieren Sie sich den 7. bis 9. Oktober 2026!

Zur Unterstützung der OK's der zukünftigen Zentralkurse hat die DCK die Thematik «Honorare und Entschädigungen» diskutiert und dazu einen Leitfaden formuliert. Auch zu den Kurskosten der Weiterbildungskurse ist eine Diskussion angelaufen.

Für den Zentralkurs 2030 konnte die Kantonsschule Frauenfeld gewonnen werden.

Ganz herzlichen Dank an Patrick Aschwanden und Hansruedi Dütsch für die Aquirierung der dezentralen Kurse.

Zusammenarbeit mit der DBK

Seit der Wiederbelebung der DBK nimmt Klemens Koch Einsitz in der DBK. Zudem findet laufend ein Austausch zwischen der DBK-Präsidentin und dem DCK-Präsidenten statt. An einer gemeinsamen Sitzung soll der Grundstein für eine stärkere Zusammenarbeit gelegt werden.

Rapport annuel de la DCK 2025

À la fin de l'année, la Commission suisse alémanique de chimie se compose des 19 membres suivants : Dana Antoniadis (ZH), Patrick Aschwanden (formation continue, ZH), Amadeus Bärtsch (didactique spécialisée ETH, ZH), Urs Bienz (cours central 2028, BS), Michael Bleichenbacher (ZH), Stefan Bosshart (TG), Basil Denzler (cours central 2024, ZH), Stefan Dolder (facilitateur ZEM + cours central 2026, BE), Hansrudolf Dütsch (formation continue, boutique VSN (VSN-shop), ZH), Jann Frey (BL), Benita Heiz (trésorière SS-PSN, AG), Vesna Klingel (TG), Klemens Koch (président SS-PSN, BE), Patrik Locher (SO), Markus Müller (cours central 2030+SCG, TG), Stefan Mundwiler (rédacteur c+b, LU), Jonas Schönle (AI), Martina Zürcher (ZG) et Andreas Bartlome (président DCK, LU).

Formation continue

En 2025, des cours décentralisés couvrant un large éventail de thèmes ont de nouveau été proposés et ont connu un grand succès à plusieurs reprises : « Escape-Games », « CU sur le changement climatique et la transition énergétique », « La chimie peut avoir bon goût » ou « Jeux et tâches analogiques pour le CU ».

Un cours sur la sécurité en collaboration avec Chemsuisse (éditeur du guide de sécurité pour les écoles) est prévu pour le prochain cours central.

Le comité d'organisation du cours central 2026 au gymnase Lerbermatte à Köniz, près de Berne, travaille déjà intensément à la planification et à l'organisation du prochain grand événement. Réservez la date du 7 au 9 octobre 2026 !

Afin de soutenir les comités d'organisation des futurs cours centraux, la DCK a discuté du thème « Honoraires et indemnités » et a rédigé un guide à ce sujet. Une discussion a également été lancée sur les coûts des cours de formation continue.

L'école cantonale de Frauenfeld a été choisie pour accueillir le cours central 2030.

Un grand merci à Patrick Aschwanden et Hansruedi Dütsch pour avoir acquis les cours décentralisés.

Collaboration avec la DBK

Depuis la relance de la DBK, Klemens Koch siège au sein de cette dernière. De plus, des échanges ont lieu régulièrement entre la présidente de la DBK et le président de la DCK. Une

Für den Zentralkurs 2026 in Köniz ist auch ein Tag mit einem zusätzlichen Angebot für Biologie-Lehrpersonen in Vorbereitung.

Verschiedenes

In Absprache mit der CRC hat die DCK auf eine Eingabe für den Balmerpreis 2026 verzichtet.

Die 9. Auflage der Formelsammlung «Formeln – Tabellen – Begriffe» ist im Sommer im hep-Verlag erschienen (gemeinsam mit der DMK und DPK).

Die DCK hat eine mögliche Unterstützung der Entwicklung eines einfachen NMR-Spektrometers für Schulen durch einen Doktoranden der ETH diskutiert.

Die DCK beobachtet und begleitet die Umsetzung der Gymnasialreform aus der Sicht des Fachs «Chemie» aber auch mit Blick auf die Qualität der gymnasialen Bildung als Ganzes. Sparpläne verschiedener Kantone lassen nicht nur optimistische Blicke in die Zukunft der Bildungslandschaft zu. Die Adressliste der Chemie- und Biologielehrpersonen ist – so weit möglich – erstellt und wird laufend à jour gehalten. «Blinde Flecken» bilden Schulen, deren Webseiten keine Auskünfte zu den Lehrpersonen zulassen.

Der VSN-Shop von Hansruedi Dütsch erfreut sich weiterhin grosser Beliebtheit und ist längst zu einer konstanten Grösse im Angebot der DCK/ des VSN geworden.

Zuhanden des VSN hat die DCK ihre Bedürfnisse an eine Erneuerung der Website diskutiert und festgehalten.

Ich möchte allen Mitgliedern der DCK für die engagierte Mitarbeit durchs Jahr ganz herzlich danken!

Herlisberg, den 31. Oktober 2025

Andreas Bartlome, Präsident der DCK

réunion commune doit permettre de poser les bases d'une collaboration plus étroite.

Pour le cours central 2026 à Köniz, une journée avec une offre supplémentaire pour les enseignants de biologie est également en préparation.

Divers

En accord avec la CRC, la DCK a renoncé à présenter sa candidature pour le prix Balmer 2026.

La 9e édition du recueil de formules « Formeln – Tabellen – Begriffe » (Formules – Tableaux – Termes) a été publiée cet été aux éditions hep (en collaboration avec la DMK et la DPK).

La DCK a discuté d'un éventuel soutien au développement d'un spectromètre RMN simple pour les écoles par un doctorant de l'ETH.

La DCK observe et accompagne la mise en œuvre de la réforme du gymnase du point de vue de la matière « chimie », mais aussi en tenant compte de la qualité de l'enseignement gymnasial dans son ensemble. Les mesures d'économies de différents cantons ne permettent pas d'envisager avec optimisme l'avenir du secteur de l'éducation.

La liste d'adresses des enseignants de chimie et de biologie a été établie dans la mesure du possible et est mise à jour en permanence. Les écoles dont les sites web ne fournissent aucune information sur les enseignants constituent des « angles morts ».

La boutique SSPSN (VSN-shop) de Hansruedi Dütsch continue de jouir d'une grande popularité et est depuis longtemps devenue une valeur sûre dans l'offre de la DCK/VSN.

La DCK a discuté et défini ses besoins en matière de renouvellement du site web à l'intention de la VSN.

Je tiens à remercier chaleureusement tous les membres de la DCK pour leur collaboration engagée tout au long de l'année !

Herlisberg, le 31 octobre 2025

Andreas Bartlome, président de la DCK

Die Deutschschweizer Biologiekommission braucht Verstärkung

Unser Verein Schweizerischer Naturwissenschaftslehrerinnen und -lehrer (VSN) besteht sowohl in der Deutschschweiz als auch in der Romandie aus je zwei Kommissionen, welche die Interessen der Chemie- bzw. Biologielehrkräfte an Schweizer Mittelschulen auf eidgenössischer Ebene vertreten.

14

Während Jahren war die Deutschschweizer Biologiekommission (DBK) verwaist. Dies führte dazu, dass die Chemiekommission in der Deutschschweiz auch die Interessen der Biologielehrkräfte vertreten musste. Ausserdem machte sich dies in der Mitgliederzeitung c+b und am Zentralkurs des VSN dadurch bemerkbar, dass Biologiethemen nur selten im Fokus standen.

Seit 2017 formierte sich unter dem Präsidium von Silvia Reist eine Gruppe Biologielehrkräfte, die die DBK wiederbelebte. Ziel dieser Gruppe ist es, der Biologie innerhalb des VSN eine eigene Stimme zu verleihen. Dies erwies sich insbesondere im Zusammenhang mit der Gymnasialreform WEGM als nützlich, und im c+b ist die Biologie wieder präsenter geworden. Daneben wurden Weiterbildungsveranstaltungen organisiert und die DBK vertrat den VSN in den

letzten Jahren mit einem Stand am Symposium des BCN (Biovalley College Network). Das neuste Produkt ist der Biologietag am nächsten Zentralkurs in Köniz. Hier wird eine emeritierte Dozentin der Universität Bern zeigen, wie wir mit unseren Klassen Fleischproben mittels genetischer Analysen auf deren Inhalt (Tierart) untersuchen können.

Für das weitere Bestehen dieser Gruppe sind wir nun auf Verstärkung aus euren Reihen angewiesen. Wir suchen ein paar Biologielehrerinnen und Biologielehrer, die in der DBK mitarbeiten. Als Belohnung winkt ein inspirierender Austausch mit Lehrkräften aus anderen Kantonen und das befriedigende Gefühl, auf eidgenössischer Ebene einen Beitrag für einen attraktiven Biologieunterricht an unseren Schulen zu leisten. Der Aufwand ist mit maximal vier Sitzungen pro Jahr überschaubar.

Wir freuen uns daher, wenn du bei unserer Präsidentin Silvia Reist dein Interesse anmeldest, die DBK tatkräftig zu unterstützen.

Kontaktadresse: silvia.reist@sluz.ch

David Stadler, DBK



Gemeinsamer Weiterbildungsanlass mit der Commission Romande de Biologie (CRB) am Sempachersee

CONCOURS DE CRÉATION DE LOGO pour la Commission Romande de Biologie (CRB)

La CRB souhaite moderniser son logo pour 2027 et fait appel à la créativité des élèves.

Objectif

Proposer un logo original reflétant l'identité et les valeurs de la Commission Romande de Biologie. La CRB est une commission représentant les enseignants du secondaire II, engagée à promouvoir la collaboration et à garantir une qualité d'enseignement en biologie grâce à l'organisation de formations continues.

15

Prix

Le logo gagnant recevra un prix de CHF 500.- (attribué à un élève ou à une classe).

Délai

Merci d'envoyer vos propositions avant le 1er novembre 2026.

Envoi

Les logos doivent être transmis au format JPEG à l'adresse suivante : crbiologie@gmail.com . Merci d'indiquer le nom du ou des élèves, la classe et l'école.

Inspiration

Ce projet pourrait être interdisciplinaire : arts visuels-biologie. L'ancien logo est présenté à titre indicatif. Il peut servir d'inspiration, mais les propositions peuvent s'en éloigner librement. Vous pouvez également visiter notre site pour mieux comprendre notre philosophie.

<https://www.crbio.ch/home>



Nous nous réjouissons de découvrir vos créations !

L'Hydre, un modèle pour régénérer et ne jamais vieillir

Texte : Alba Hendier

16

Le 22 novembre 2025, la Commission Romande de Biologie (CRB) a organisé une journée de formation continue au gymnase de Morges, consacrée à l'hydre d'eau douce.

La formation était animée par la professeure Brigitte Galliot et la Dr. Wanda Buzgariu, spécialistes de l'hydre et de ses capacités de régénération.

Le thème a attiré 20 participants, principalement des enseignants, mais aussi des laborantins issus de plusieurs établissements scolaires. Presque tous les cantons romands (à l'exception du canton de Neuchâtel) et le Tessin étaient représentés (cf. figure 4).

Au cours de cette journée, les participants ont pu tester divers travaux pratiques directement transposables en classe. De nombreux conseils concernant la conservation et la culture des hydres ont également été partagés, et un cahier riche en travaux pratiques a été distribué.

Parmi les activités proposées figuraient l'observation du nourrissage de l'hydre à l'aide d'artémias (cf. figure 1) ainsi que l'étude de sa capacité de régénération après sectionnement. Les cellules urticantes ont également pu être observées au microscope (cf. figure 3).



Figure 1 : nourrissage de l'hydre (*Hydra viridissima*) à l'aide d'artémias.

Abbildung 1: Fütterung der Hydra (*Hydra viridissima*) mit Artemien.

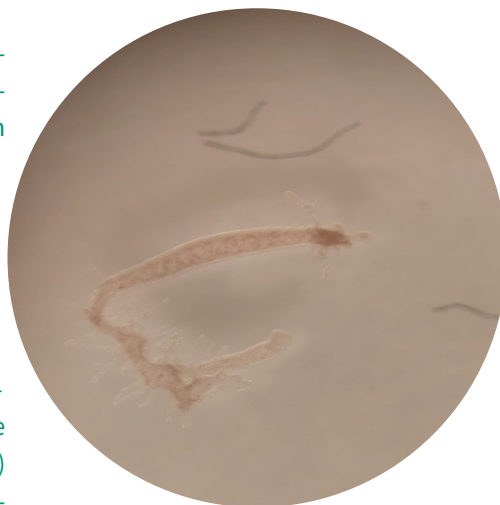


Figure 2 : hydre transgénique présentant des têtes ectopiques à la suite de l'inhibition de la protéine Sp5.

Abbildung 2: Transgene Hydra mit ectopischen Köpfen infolge der Hemmung des Sp5-Proteins.

Die Hydra, ein Vorbild für Regeneration und ewige Jugend

Text: Alba Hendier

Am 22. November 2025 organisierte die Commission Romande de Biologie (CRB) im Gymnasium von Morges einen Weiterbildungstag zum Thema Süßwasserhydra.

Die Schulung wurde von Professorin Brigitte Galliot und Dr. Wanda Buzgariu geleitet, zwei Spezialistinnen für die Hydra und ihre Regenerationsfähigkeiten.

Das Thema zog 20 Teilnehmer an, hauptsächlich Lehrer, aber auch Laboranten aus mehreren Bildungseinrichtungen. Fast alle Kantone der Romanie (mit Ausnahme des Kantons Neuenburg) und das Tessin waren vertreten (siehe Abbildung 4).

Im Laufe des Tages konnten die Teilnehmer verschiedene praktische Übungen ausprobieren, die sich direkt im Unterricht umsetzen lassen. Es wurden auch zahlreiche Tipps zur Haltung und Zucht von Hydren gegeben und ein Heft mit zahlreichen praktischen Übungen verteilt.

Zu den angebotenen Aktivitäten gehörten die Beobachtung der Fütterung der Hydra mit Artemien (siehe Abbildung 1) sowie die Untersuchung ihrer Regenerationsfähigkeit nach einer Durchtrennung. Die Nesselzellen konnten auch unter dem Mikroskop beobachtet werden (siehe Abb. 3).

Es wurden auch komplexere Manipulationen vorgestellt, wie die Trans-

Des manipulations plus complexes ont aussi été présentées, comme la transplantation d'un fragment de tête (région hypostomiale, zone de la tête portant les tentacules) sur le corps d'une hydre hôte afin d'en observer l'activité organisatrice.

Les participants ont en outre pu observer des hydres génétiquement modifiées, notamment des individus présentant une inhibition de la protéine Sp5, normalement impliquée dans la régulation de la formation de tête surnuméraire (cf. figure 2).

En conclusion, cette journée a permis aux participants de découvrir un modèle biologique fascinant et d'acquérir des outils concrets pour illustrer en classe les mécanismes du développement et de la régénération de l'hydre.

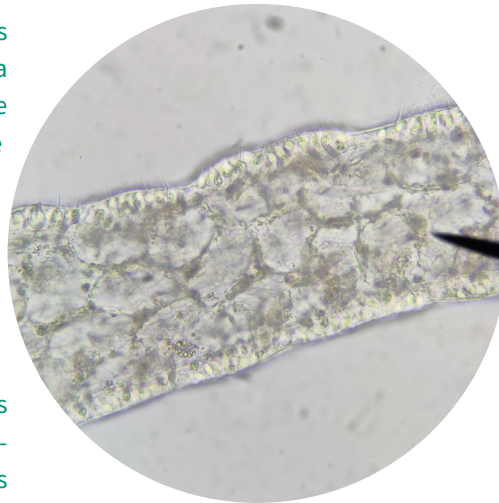


Figure 3 : observation au microscope optique de tentacules d'hydre. Les cellules urticantes (cnidocytes) sont visibles dans l'ectoderme. Il est également possible d'observer l'éjection du dard contenu dans ces cellules, utilisé pour capturer les proies

Abbildung 3: Beobachtung von Hydra-Tentakeln unter dem Lichtmikroskop. Die Nesselzellen (Cnidocyten) sind im Ektoderm sichtbar. Man kann auch den Ausstoß des in diesen Zellen enthaltenen Stachels beobachten, der zum Fangen von Beute dient.

plantation eines Kopfstücks (Hypostomium, Bereich des Kopfes mit den Tentakeln) auf den Körper einer Wirtshydra, um deren organisierende Aktivität zu beobachten.

Die Teilnehmer konnten außerdem genetisch veränderte Hydren beobachten, insbesondere Individuen mit einer Hemmung des Proteins Sp5, das normalerweise an der Regulierung der Bildung von überzähligen Köpfen beteiligt ist (siehe Abbildung 2).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass dieser Tag den Teilnehmern die Möglichkeit bot, ein faszinierendes biologisches Modell zu entdecken und konkrete Instrumente zu erwerben, um die Mechanismen der Entwicklung und Regeneration der Hydra im Unterricht zu veranschaulichen.



Figure 4 : participants de la formation continue en compagnie de la professeure Brigitte Galliot et de la Dr. Wanda Buzgariu.
Abbildung 4: Teilnehmer der Fortbildung in Begleitung von Professorin Brigitte Galliot und Dr. Wanda Buzgariu.

BIO_BYOD

Pour la CRB, Lola Hostettler, organisatrice de la journée

Le 17 mai 2025, la Commission Romande de Biologie (CRB) a proposé une journée de formation continue portant sur l'utilisation des moyens numériques dans l'enseignement de la biologie au secondaire II.

18

Le « BYOD » (Bring Your Own Device) étant entré en vigueur dans la plupart des cantons romands, il semblait important d'offrir aux enseignant·e·s la possibilité de découvrir non seulement de nouveaux outils, mais aussi d'échanger autour de leurs pratiques en matière d'enseignement numérique.

Afin de proposer une formation au plus près des besoins individuels et ancrée dans la réalité des classes, chaque participant·e a pu choisir des ateliers parmi les propositions d'intervenant·e·s venu·e·s d'universités, de gymnases et d'écoles de culture générale de plusieurs cantons romands.

La formation a eu lieu dans les locaux du Collège de Gambach à Fribourg, un espace moderne et idéalement équipé, gracieusement mis à disposition pour l'occasion.

De la génétique comparée entre banane, chimpanzé et humain (Dr. Marie-Claude Blatter, SIB, Dr. Laurent Falquet, SIB et UNIFR) au monde fascinant du blob (Elvire Carrupt Collège Sismondi), en passant par la création de cartes conceptuelles (Dr. Marie-Pierre Chevron UNIFR et Lola Hostettler Collège de Gambach), les participant·e·s ont exploré multiples façons de mettre le numérique au service de l'enseignement de la biologie. D'autres ateliers ont ouvert la réflexion sur les usages pédagogiques de l'intelligence artificielle (Antoine Merckelbach École de culture générale de Fribourg) et sur des approches plus ludiques, comme la création d'Escape games (Anja Stauffer Gymnase intercantonal de la Broye) ou l'utilisation d'outils numériques interactifs (Patrick Presi, Gymnase de Bienne et du Jura bernois).

BIO_BYOD

Für die CRB, Lola Hostettler, Organisatorin des Tages

Am 17. Mai 2025 bot die Commission Romande de Biologie (CRB) einen Weiterbildungstag zum Einsatz digitaler Medien im Biologieunterricht der Sekundarstufe II an.

Da «BYOD» (Bring Your Own Device) in den meisten Kantonen der Romandie eingeführt wurde, erschien es wichtig, den Lehrpersonen die Möglichkeit zu bieten, nicht nur neue Tools kennenzulernen, sondern sich auch über ihre Praktiken im Bereich des digitalen Unterrichts auszutauschen.

Um eine Fortbildung anzubieten, die den individuellen Bedürfnissen möglichst nahekommt und in der Realität des Unterrichts verankert ist, konnte jede Teilnehmerin und jeder Teilnehmer aus den Angeboten von Referentinnen und Referenten aus Universitäten, Gymnasien und allgemeinbildenden Schulen mehrerer Kantone der Romandie Workshops auswählen.

Die Fortbildung fand in den Räumlichkeiten des Collège de Gambach in Fribourg statt, einem modernen und ideal ausgestatteten Ort, der für diesen Anlass kostenlos zur Verfügung gestellt wurde.

Von der vergleichenden Genetik zwischen Banane, Schimpanse und Mensch (Dr. Marie-Claude Blatter, SIB, Dr. Laurent Falquet, SIB und UNIFR) über die faszinierende Welt der Blobs (Elvire Carrupt, Collège Sismondi) bis hin zur Erstellung von Konzeptkarten (Dr. Marie-Pierre Chevron, UNIFR, und Lola Hostettler, Collège de Gambach) erkundeten die Teilnehmenden vielfältige Möglichkeiten, digitale Technologien im Biologieunterricht einzusetzen. Andere Workshops regten zum Nachdenken über den pädagogischen Einsatz künstlicher Intelligenz (Antoine Merckelbach, École de culture générale de Fribourg) und über spielerischere Ansätze wie die Erstellung von Escape Games (Anja Stauffer, Gymnase intercantonal de la Broye) oder die Verwendung interaktiver digitaler Tools (Patrick Presi, Gymnase de Bienne et du Jura bernois).

Cette mosaïque de pratiques témoigne de la créativité et du dynamisme de la communauté enseignante romande, une richesse que la CRB souhaitait mettre en valeur à travers cette formation par les enseignant·e·s pour les enseignant·e·s.

Dieses Mosaik an Praktiken zeugt von der Kreativität und Dynamik der Westschweizer Lehrerschaft, ein Reichtum, den die CRB mit dieser Fortbildung von Lehrkräften für Lehrkräfte hervorheben wollte.

19



Collège de Gambach à Fribourg. © Christian Kreienbühl

VisionScience – Bericht über eine gelungene fachübergreifende Weiterbildung mit schweizweiter Teilnahme

VisionScience: un successo la formazione interdisciplinare per docenti a livello svizzero

VisionScience – Bilan d'une formation continue interdisciplinaire réussie à l'échelle nationale

20

Um lernförderlich und zeitgemäss zu unterrichten, vertiefen wir Lehrpersonen uns regelmässig in unser Fach und blicken aber auch seitwärts und vorwärts. Wenn das im Austausch unter 170 Lehrpersonen, Atelieranbietenden und Referierenden aus der Mathematik, Physik, Chemie, Biologie, Informatik und Geografie möglich ist, können wir neue Ideen mitnehmen und uns weiterentwickeln. Dazu bot der Kongress visionScience vom 22. – 24. Januar 2026 Gelegenheit an der ETH Zürich auf dem Höggerberg. Er steht in einer Reihe von Kongressen wie «MuFiMa», (Musica-Fisica-Matematica), 1999, Locarno, «Science Cuisine», 2013, Sion und «scientiæ & robotica» 2018, EPFL.

Die Erwartungen an die Bildung ändern schnell, die Weiterentwicklung der Gymnasialen Maturität fördert und fordert eine öffentliche Diskussion. Nur wenn die Lehrpersonen die Ideen selber aufnehmen und sich Visionen zu eigen machen, ändert sich der Un-

Come restare aggiornati in un mondo della scuola in costante evoluzione? Confrontandosi, discutendo, e guardando oltre i confini della propria disciplina. È ciò che hanno fatto i 170 partecipanti al congresso visionScience, svoltosi dal 22 al 24 gennaio 2026 all'ETH di Zurigo, riunendo insegnanti, formatori e relatori di matematica, fisica, chimica, biologia, informatica e geografia da tutta la Svizzera.

L'incontro si inserisce nella tradizione dei grandi congressi interdisciplinari ideati dalle associazioni professionali svizzere delle discipline scientifiche – dopo «MuFiMa» (1999, Locarno), «Science Cuisine» (2013, Sion) e «scientiæ & robotica» (2018, EPFL). Questa edizione ha scelto come filo conduttore la sostenibilità, considerata una delle principali sfide educative del futuro.

Per oltre due anni e mezzo il comitato d'organizzazione (in cui sedevano rappresentanti delle associazioni professionali SSII, asig, SSIMF e ASISN) ha

Le congrès VisionScience, organisé du 22 au 24 janvier 2026 à l'ETH Zurich, s'est inscrit dans une dynamique de formation continue interdisciplinaire réunissant plus de 170 enseignant·es, animateur·trices d'ateliers et intervenant·es, issus des domaines des mathématiques, de la physique, de la chimie, de la biologie, de l'informatique et de la géographie.

Cet événement visait à favoriser l'échange de pratiques pédagogiques et à soutenir le développement professionnel des enseignant·es dans un contexte éducatif en mutation. Suite à l'avènement de la réforme de la maturité gymnasiale, le comité d'organisation – composé de membres des associations professionnelles disciplinaires ASEG, SSIE, SSPMP et SSPSN – a orienté la réflexion vers des thématiques d'avenir, en particulier la durabilité envisagée comme un enjeu intergénérationnel majeur.



Hansruedi Dütsch



Benita Heiz



Alessio Figalli

terrichtet. Mit dieser Überzeugung begann das OK aus den Fachverbänden der obengenannten Fächer (SVIA, VSGg, VSMP und VSN) vor mehr als zweieinhalb Jahren Themen zu suchen, welche die Bildung prägen werden, und fokussierte schliesslich auf die generationenübergreifende Aufgabe der Nachhaltigkeit in ihrer ganzen Breite.

Dabei entstand ein zweieinhalb-tägiges Programm mit Vorträgen zum Klimawandel (Reto Knutti, ETHZ), zur Müdigkeit, sich damit zu beschäftigen (Michael Hermann, Sotomo), zur Nachhaltigkeit und Data Science (Antoinetta Mira, USI), zur Energiewende und Photovoltaik (Christophe Ballif, EPFL), zur Transportoptimierung (Alessio Figalli, ETHZ) und über den irdischen Horizont hinaus zur Planetenforschung (Simon Stähler, ETHZ).

Über 50 Ateliers ergänzten die Vorträge, vor allem mit fachübergreifen-

laborato per definire un programma capace di stimolare una riflessione collettiva sul ruolo della scuola di fronte ai cambiamenti globali. Ne è nato un ricco calendario di due giorni e mezzo, con interventi che hanno spaziato dal cambiamento climatico (Reto Knutti, ETHZ) alla fatica di affrontarlo (Michael Hermann, Sotomo), dalla data science per la sostenibilità (Antoinetta Mira, USI) all'energia fotovoltaica (Christophe Ballif, EPFL), dal trasporto sostenibile (Alessio Figalli, ETHZ) fino alla ricerca planetaria (Simon Stähler, ETHZ).

A completare le conferenze, oltre 50 atelier tematici hanno affrontato questioni di grande attualità: l'uso dell'intelligenza artificiale nella didattica, le opportunità e i limiti della digitalizzazione, e le nuove competenze richieste dall'educazione liceale di domani. L'obiettivo: trovare modalità per integrare i temi trasversali nei piani di studio, valorizzando il sapere discipli-

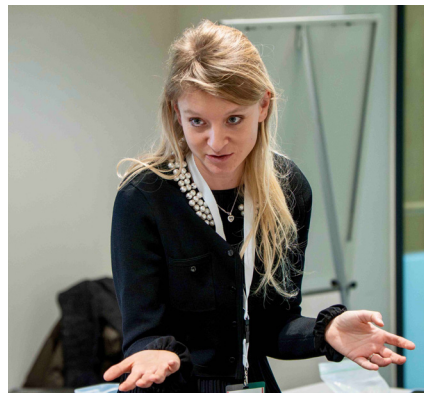
Le congrès a proposé plusieurs conférences animées par des scientifiques de renom aussi pointus qu'engagés. Reto Knutti (ETH Zurich) a ainsi proposé une analyse approfondie des dynamiques du changement climatique, tandis que Michael Hermann (Sotomo) a examiné le phénomène croissant de lassitude sociétale face à ces enjeux, apportant un éclairage complémentaire sur les dimensions sociales de cette problématique.

Dans une perspective interdisciplinaire, Antoinetta Mira (USI) a mis en évidence le rôle central de la science des données dans l'analyse et la gestion des questions liées à la durabilité, soulignant l'importance des approches quantitatives dans la compréhension de systèmes complexes.

Les enjeux énergétiques ont été abordés par Christophe Ballif (EPFL), qui a présenté des solutions concrètes de transition énergétique, notamment à



Patrick Aschwanden



Lola Hostettler



Amadeus Bärtsch



22

Der Kongress dient auch dem Kennenlernen und Austausch

den Themen aber auch mit fachbezogenen. So wurden viele Fragen zur Nutzung und Anwendung von KI diskutiert, Chancen der Digitalisierung aufgezeigt und hinterfragt. Und viele Ateliers zeigten fachspezifische Möglichkeiten, neue Ansprüche an die gymnasiale Bildung aufzunehmen. Mit der Chance, in der Schweiz mit fachlich sehr gut ausgebildeten Lehrpersonen den Unterricht bestreiten zu können, sind auch Wege zu suchen, wie neue und nicht fachgebundene Themen von uns Lehrpersonen angepackt werden. Das genaue Programm finden Sie auf der Webseite www.visionsscience26.ch.

nare degli insegnanti svizzeri, ma anche la loro capacità di rinnovarsi.

Il bilancio finale è ampiamente positivo: le valutazioni dei partecipanti parlano di un evento riuscito, capace di creare sinergie tra aree di sapere diverse e di alimentare un clima di collaborazione e curiosità. Alcuni docenti hanno espresso il desiderio di avere più spazi per lo scambio informale, ma l'entusiasmo generale ha superato ogni aspettativa.

Resta aperta la questione del sostegno istituzionale: in Svizzera mancano ancora fondi pubblici stabili per iniziative di formazione continua di respiro nazionale. Il congresso visionScience ha

travers le développement du photovoltaïque. Son intervention a également permis d'interroger la question de l'indépendance énergétique dans un contexte géopolitique global marqué par de fortes incertitudes.

Alessio Figalli (ETH Zurich) s'est distingué par une remarquable capacité de vulgarisation en exposant le cadre théorique du transport optimal. Il en a illustré les applications dans des domaines aussi variés que la météorologie, la chimie, la biologie ou encore les systèmes de transport, mettant en évidence la portée transversale de ce modèle mathématique.

Enfin, le congrès s'est ouvert à des perspectives extraterrestres grâce à l'intervention de Simon Stähler (ETH Zurich), dont la présentation a exploré la question fascinante de la vie au-delà de la Terre, en particulier sur Mars. Ces interventions ont été complétées par plus de cinquante ateliers disciplinaires et interdisciplinaires, théoriques ou pratiques tous pensés spécifiquement pour l'enseignement gymnasial. Une attention particulière a été accordée aux enjeux liés à la nu-



OK/CO v. l. n. r: Franz Meier, Klemens Koch, Hansjürg Stocker, Lola Hostettler, Ursula Zehnder, Arno Gropengiesser, Andreas Bartlome (es fehlen auf dem Foto: Philippe Hertig, Tanja Jäger, Andrea Leu, Marcel Pilloud, Anina Steinlin, Josef Züger)

In der Rückschau können wir Vieles an diesem Kongress als gelungen bezeichnen, so hat auch die Evaluation fast durchgehend positive Rückmeldungen gebracht. Die Zusammenarbeit unter so vielen Fächern wurde als sehr bereichernd erlebt, aber etwas mehr Raum für den freien Austausch zwischen den Teilnehmenden mit der Möglichkeit zur Verarbeitung des Gehörten wurde gewünscht. Die Terminierung Ende Januar mitten in der Zeit des Semesterabschlusses an vielen Schulen kann sicher diskutiert werden, wobei für einen Anlass an einer Hochschule durch andere Termine viele Rahmenbedingungen gegeben sind und jeder andere Termin auch Nachteile gehabt hätte. Die ehrenamtliche Arbeit des Organisationskomitees war sicher eine grosse Belastung, die Erfahrungen der Zusammenarbeit aber auch eine grosse Bereicherung. Es fehlt leider in der Schweiz eine Unterstützung der öffentlichen Hand für solche nationale Weiterbildungsanlässe und vorhandene Mittel werden anders verwendet. Es wird auch in Zukunft wichtig sein, dass die Lehrpersonen und ihre Verbände Initiativen zur Weiterbildung ergreifen, intrinsische Motivation verbessert das Lernen nicht nur bei Schülerinnen und Schülern. Ebenso unersetzlich sind das soziale Rahmenprogramm und das Anliegen, Lehrpersonen miteinander ins Gespräch zu bringen. In diesem Sinne werden nun Wege gesucht, diese Kongresse zu verstetigen und den Keim für künftige Kongresse zu legen.

Klemens Koch, Chemielehrer, Gymnasium Biel-Seeland (BE), Gesamtverantwortlicher OK «visionScience»

Fotos: Henri Leuzinger, Matteo Cook, Jade Eymann

dimostrato però quanto la motivazione intrinseca e la passione degli insegnanti possano supplire a queste carenze — e quanto sia prezioso, anche socialmente, creare momenti d'incontro tra colleghi di discipline diverse.

Il gruppo di lavoro che ha condiviso questa esperienza sta già pensando a come dare continuità al progetto e immaginare le prossime tappe di un percorso che, come il nome stesso suggerisce, unisce visione e scienza per una scuola capace di guardare al futuro.

Arno Gropengiesser, docente di matematica, Liceo cantonale di Locarno (TI), membro del comitato d'organizzazione



In den Ateliers wird an Fachlichem, Interdisziplinärem, Nachhaltigem und den Konsequenzen für die Bildung gearbeitet

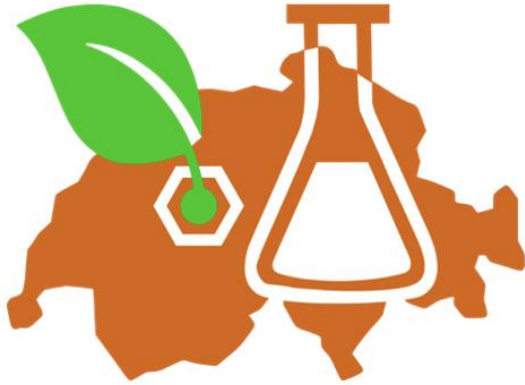
mérisation et à l'intelligence artificielle, tant du point de vue de leurs opportunités pédagogiques que de leurs limites. Vous trouverez le programme complet sur le site web www.visionsscience26.ch ; vous pourrez également y télécharger les documents.

Si les participants ont exprimé le souhait de disposer de davantage de temps pour les discussions informelles et l'appropriation des contenus lors d'événements futurs, l'évaluation du congrès est unanimement positive soulignant la richesse des contenus et des échanges interdisciplinaires.

Peu de fonds publics sont alloués à ce genre de manifestation. Pendant deux ans, c'est bénévolement que le comité d'organisation s'est consacré à l'élaboration du congrès, un travail passionnant mais très exigeant. Les associations de branches souhaitent donc à présent trouver des moyens de pérenniser cette pratique devenue rituelle à l'échelle nationale «MuFiMa», (Musica-Fisica-Matematica), 1999, Locarno, « Science Cuisine », 2013, Sion, « scientiae & robotica » 2018, EPFL.

La motivation intrinsèque est un facteur majeur de réussite académique. Le comité d'organisation de Vision Science en est convaincu, ce principe s'applique tout autant aux élèves qu'à leurs enseignant·es. C'est un élan scientifique rigoureux, créatif et engagé que le congrès espère avoir transmis à tous ses participant·es.

Lola Hostettler, professeure de biologie et de chimie au Collège de Gambach (FR), membre du comité d'organisation



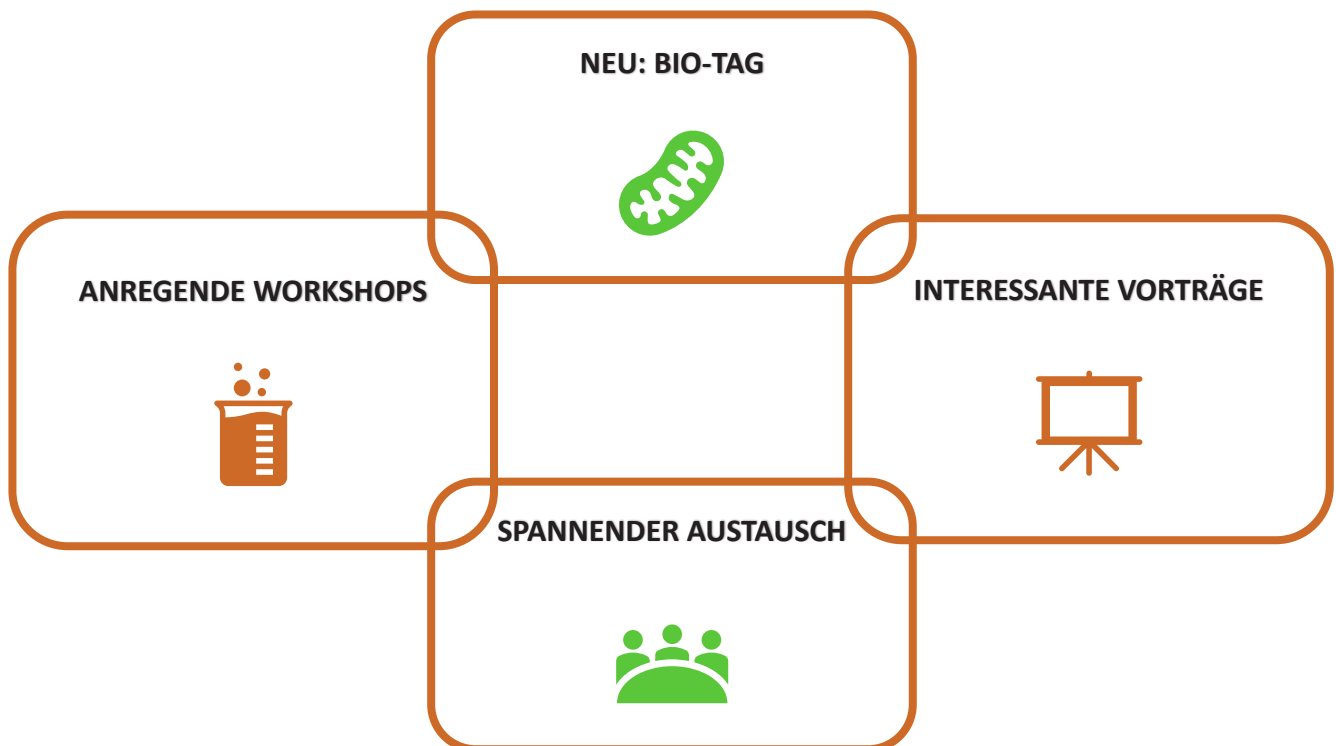
Zentralkurs Cours central 2026

VSN-SSPSN-ASISN

Köniz | Bern
7.10. – 9.10.2026

www.zentralkurs.ch

24



Zentralkurs 2026 in Köniz BE

Text: Timo Radjenovic und Marcel Sigrist

Liebe Kolleginnen und Kollegen,
Wir laden euch herzlich zum nächsten Zentralkurs in Köniz BE ein. Er findet statt vom

Mittwoch, 7. Oktober bis Freitag, 9. Oktober 2026

Der Kurs wird in den Räumlichkeiten des Gymnasiums Lerbermatt in Köniz, Bern stattfinden.

Was erwartet uns?

In diesem Jahr wird es zum ersten Mal auch einen **Biologie-Tag** geben. (siehe nächste Seiten) Dieses Programm läuft am Donnerstag parallel zum Chemieteil des Zentralkurses.

- Wie in den letzten Jahren werden am Mittwoch und Donnerstag diverse anregende **Workshops** parallel durchgeführt. In diesen werden gelungene Unterrichtseinheiten und Experimente vorgestellt.
- Begleitet werden die Workshops durch interessante **Vorträge** und **Ausstellungen** zu Unterrichtsmaterialien.
- Im Rahmen des Zentralkurses wird auch die **Generalversammlung des VSN** stattfinden.
- Die beiden Abende werden mit einem köstlichen **Apéro Riche** und einem festlichen **Galaessen** abgerundet.
- Am Freitag werden diverse spannende **Exkursionen** angeboten.

Wer ist angesprochen?

Die Einladung richtet sich an:

- Alle Mitglieder des VSN
- Alle interessierten Lehrpersonen, die Chemie und/oder Biologie unterrichten
- Studierende für das Lehrdiplom
- Lehrpersonen aus der Schweiz und den umliegenden Ländern

Cours central 2026 à Köniz (BE)

Texte : Timo Radjenovic et Marcel Sigrist

Chers collègues,
Nous vous invitons cordialement au prochain cours central à Köniz (BE). Il aura lieu du

mercredi 7 octobre au vendredi 9 octobre 2026

Le cours se déroulera dans les locaux du gymnase Lerbermatt à Köniz, Berne.

Que nous réserve ce cours ?

Cette année, une **journée consacrée à la biologie** sera organisée pour la première fois (voir pages suivante). Ce programme se déroulera le jeudi, en parallèle de la partie chimie du cours central.

- Comme les années précédentes, divers **ateliers** stimulants se dérouleront en parallèle le mercredi et le jeudi. Des séances d'enseignement et des expériences réussies y seront présentées.
- Les ateliers seront accompagnés de **conférences** intéressantes et d'**expositions** sur le matériel pédagogique.
- **L'assemblée générale de la SSPSN** aura également lieu dans le cadre du cours central.
- Les deux soirées seront agrémentées d'un délicieux **apéritif dînatoire** et d'un **dîner de gala** festif.
- Vendredi, diverses excursions passionnantes seront proposées.

À qui s'adresse cette invitation ?

L'invitation s'adresse à :

- Tous les membres de la SSPSN
- Tous les enseignants intéressés qui enseignent la chimie et/ou la biologie
- Les étudiants en formation pour le diplôme d'enseignement
- Les enseignants de Suisse et des pays voisins

Workshops: Aufruf zum Mitmachen!

Der Zentralkurs lebt von Erfahrungen und dem Austausch zwischen Lehrpersonen.

Haben Sie eine gute Unterrichtseinheit, ein schönes Experiment oder neue Ideen zum Unterricht und möchten dieses Wissen in einem 45- oder 90-minütigen Workshop vorstellen?

26

Dann melden Sie sich gerne bei Luca Dick (luca.dick@lerbermatt.ch). Die Workshops werden vergütet und können sowohl Experimente wie auch Präsentationen oder Diskussionsrunden beinhalten.

Wie geht es weiter?

Unsere Website: <https://zentralkurs.lerbermatt.ch/>

Laufend findet man dort neue Informationen zu Programm, Workshops, Anmeldung, etc...

Wir freuen uns sehr auf den Zentralkurs 2026 und den Austausch unter Kolleginnen und Kollegen. Wer Fragen zum Zentralkurs hat, kann sich gerne beim OK melden.

Wer organisiert was?

Qui organise quoi ?

Das OK setzt sich wie folgt zusammen:

Le comité d'organisation est composé comme suit :

Daniel Meierhans Exkursionen
daniel.meierhans@lerbermatt.ch

Luca Dick Workshops
luca.dick@lerbermatt.ch

Marcel Sigrist Kommunikation, IT, Catering
marcel.sigrist@lerbermatt.ch

Michelle De Lorenzo Gala-Essen
michelle.delorenzo@lerbermatt.ch

Sabine Horn Vorträge
sabine.horn@lerbermatt.ch

Stefan Dolder Finanzen, Sponsoring
stefan.dolder@lerbermatt.ch

Therese Lüthi Vorträge, Catering
therese.luethi@lerbermatt.ch

Timo Radjenovic Kommunikation, IT
timo.radjenovic@lerbermatt.ch

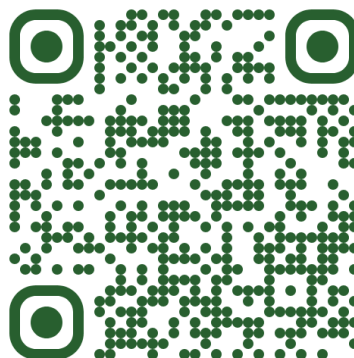
Ateliers : appel à la participation !

Le cours central se nourrit des expériences et des échanges entre enseignants.

Vous avez une bonne unité d'enseignement, une belle expérience ou de nouvelles idées pour vos cours et souhaitez partager ce savoir dans un atelier de 45 ou 90 minutes ? Alors n'hésitez pas à contacter Luca Dick (luca.dick@lerbermatt.ch). Les ateliers sont rémunérés et peuvent inclure aussi bien des expériences que des présentations ou des tables rondes.

Et maintenant ?

Notre site web : <https://zentralkurs.lerbermatt.ch/>



Vous y trouverez régulièrement de nouvelles informations sur le programme, les ateliers, les inscriptions, etc.

Nous nous réjouissons beaucoup du cours central 2026 et des échanges entre collègues. Si vous avez des questions concernant le cours central, n'hésitez pas à contacter le comité d'organisation.

DBK

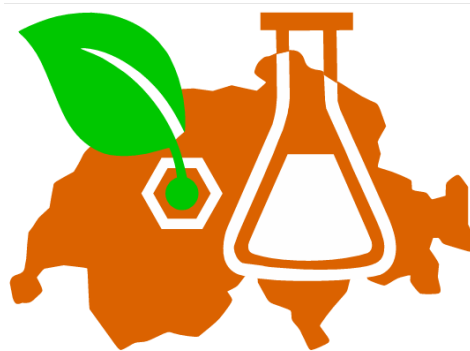
Deutscheschweizer Biologiekommision des VSN

Weiterbildungstag Biologie
Donnerstag, 8. Oktober 2026

am Zentralkurs in Köniz (Lerbermatt)

7. - 9. Oktober 2026

Kosten: ca. 100.-



27



Abb.1: Lasagne. Ob wohl drin steckt, was auf der Verpackung steht?

Lasagne unter Verdacht - dem Pferdefleischskandal auf der Spur

In diesem eintägigen Workshop mit Dr. Ruth Dörig bestimmen wir, welche Tierarten in einem Fleischgemisch (z. B. Lasagne, Abb. 1) vertreten sind. Dazu isolieren wir mitochondriale DNA aus Fleischproben und amplifizieren mittels **PCR** das Gen für Cytochrom b. Mittels **RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism)** und **Gel-Elektrophorese** erstellen wir genetische Fingerabdrücke (Abb. 2). Damit können wir prüfen, ob die Inhaltsangaben auf der Lasagneverpackung korrekt sind.

Mit diesem Experiment können wir unseren Schülern und Schülerinnen an einem praxisnahen Beispiel zeigen, wie grundlegend biochemische Methoden funktionieren und wozu man sie brauchen kann.

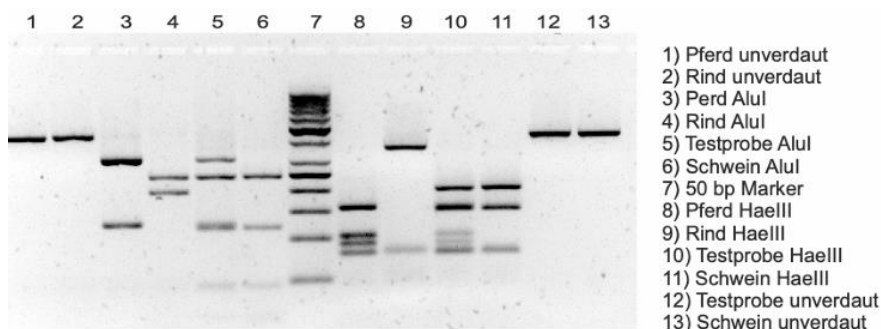


Abb.2: Wir fragen nicht nur, sondern forschen selbst. Das also befindet sich in der Lasagne. (Resultate von Studierenden; Uni Bern, R. Dörig)



[Link zum Anmeldeformular](#)

chemTour 6: das deutsche Chemiemuseum in Merseburg und Ferropolis in Gräfenhainichen

Text und Fotos: Stefan Mundwiler

28

Wir alle kennen MINT-Museen, die sich hauptsächlich mit Physik beschäftigen, wie das Technorama in Winterthur oder mit Ingenieurleistungen, wie das Verkehrshaus in Luzern. Wir waren schon in botanischen Gärten, Zoos und naturhistorischen Museen wie dem Muséum d'histoire naturelle in Genf. In Basel findet sich das hübsche Pharmaziemuseum, die Geologie wird im «focusTerra» in Zürich präsentiert. Aber gibt es auch ein Museum, das sich der Chemie widmet?

Nun, in Merseburg steht das «Deutsche Chemiemuseum». Es sieht allerdings gar nicht wie ein Museum aus. Der Grossteil der Ausstellungstücke befinden sich draussen, die Anlage erinnert eher an einen Skulpturenpark (Abb. 1). Seltsam geformte Objekte aus oft grün gefärbtem Stahl verteilen sich einer weitläufigen Grünanlage.

Merseburg mit den Leuna-Werken bildet eine Ecke des «mitteldeutschen Chemiedreiecks». Die anderen Ecken sind die Buna-Werke in Schkopau / Halle und der Chemiepark in Bitterfeld. Hier werden seit dem ersten Weltkrieg grosstechnisch Chemieprodukte hergestellt. Während der DDR-Zeit war das Chemiedreieck ein wichtiger Produktionsstandort, in den aufgrund der Mangelwirtschaft aber nicht investiert wurde. So waren die Anlagen veraltet und die Umweltverschmutzung bedenklich. Nach der Wende wurden die meisten Anlagen stillgelegt und zu-



Abb. 1: Im Technikpark

rückgebaut. 1993 gründete sich der Förderverein «Sachzeugen der Chemischen Industrie». Professoren der technischen Universität Merseburg und ehemalige Angestellte der Chemiewerke setzten sich das Ziel, interessante chemietechnische Anlagen zu retten. Ein Jahr später konnte der Verein das Chemiemuseum eröffnen.

Die Leuna-Werke starteten im ersten Weltkrieg mit der Ammoniak-Synthese

nach Haber-Bosch für die Sprengstoffherstellung. Der Standort in Mitteldeutschland wurde gewählt, weil die BASF in Ludwigshafen zu nahe an Frankreich lag und Angriffe mit Flugzeugen befürchtet wurden. Der Blickfänger des Technikparks ist eine Ammoniaksyntheseanlage mit einem 12Meter hohen Reaktor aus dem Jahr 1927 und einem riesigen, 70 t schweren Kreislaufverdichter aus der gleichen Zeit (Abb. 2).

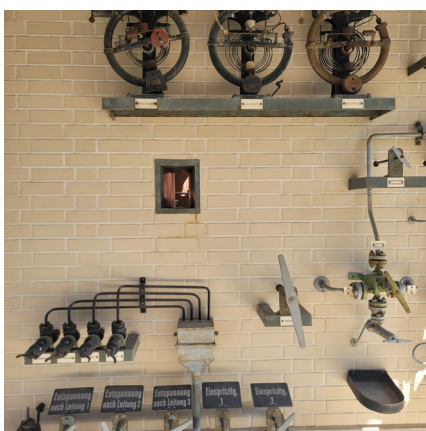


Abb. 2: die Steuerung der Ammoniakanlage, hinter dem Fensterchen in der Sicherheitsmauer steht der Reaktor



Abb. 3: Glockenboden einer Destille



Abb. 4: Gegenstromkühler, 1967, von Burckhard aus Basel, 30 Jahre in Betrieb

Später wurde in den Leuna-Werken auch Petrochemie betrieben, zuerst auf Basis von Braunkohle, dann mit Erdöl. Viele Exponate stammen aus der Ölaufbereitung und der Kunststoffherstellung: Reaktoren, Destillationen, Wärmetauscher, Pumpen (Abb. 3 - 5).

In den Buna-Werken im nahen Schkopau wurde Synthekautschuk aus Butadien und Natrium hergestellt. Als Kohlenstoffquelle diente Kohle, die

mit gebranntem Kalk zu Calciumcarbid umgesetzt wurde, das sich dann zu Ethin zersetzte. Aus den Buna-Werken sind u.a. eine Kautschuk-Bandmaschine und eine Amalgam-Elektrolysezelle ausgestellt. Ein Höhepunkt im Technikpark ist der Chemiezug mit einer Speicherdampf-Lokomotive. (Abb. 6)

Abb. 6: «Plaste aus Schkopau»: der Chemiezug



Abb. 5: Modell eines petrochemischen Werks



30

Neben all der Wissenschaftlichkeit kommt auch ein etwas nerdiger Humor nicht zu kurz. So finden sich im Park eine Sonnenuhr, zusammengesetzt aus diversen Rührwerken, und «Schrottis», aus Metallabfällen zusammengeschwesste Männchen (Abb. 7)



Abb. 7: "Schrottis" führen durch den Technikpark

Ich hatte das Glück, bei meinem Besuch hervorragend betreut zu werden. Eine Chemikerin, die in den Leuna-Werken arbeitete, führte mich und zwei weitere Gäste über zwei Stunden durch den Technikpark. Ich erfuhr so nicht nur viele Details über die chemischen Prozesse und Anlagen, sondern auch über die Arbeitswelt zur DDR-Zeit. Geld und Rohstoffe waren rar, dafür waren hochqualifizierte Fachfrauen und -männer da, die die teilweise über 50 Jahre alten Anlagen in Stand hielten. Sie glänzten dabei mit Improvisationskunst und handwerklichem Geschick. Leider waren diese Qualitäten nach der Wende nicht



mehr gefragt. Heute wird schnell weggeworfen und ersetzt. Viele Jobs gingen verloren, die Leute arbeitslos.

Das Chemiemuseum in Merseburg erlaubt uns den Einblick in eine verschwundene Zeit.

Die Chemieindustrie verbraucht sehr grosse Mengen elektrischer Energie. Im mitteldeutschen Chemiedreieck wurde (und wird) diese aus Braunkohle hergestellt. Um mir einen Eindruck der Grösse des Braunkohleabbaus zu machen, besuchte ich Ferropolis in Gräfenhainichen.

Hier stehen auf einer Halbinsel im Gremminer See fünf riesige Bagger und Absetzer. Der Gremminer See ist ein gefluteter, ehemaliger Tagebau. Die Grossgeräte blieben nach der Stilllegung zurück und wurden vor der Verschrottung gerettet. Sie stehen nun wie gigantische Insekten aus einer vergessenen Zeit da und beeindrucken in ihrer unglaublichen Grösse und dem Gewusel aus rostendem Stahl.

Abb. auf dieser Seite: Bagger und Absetzer in Ferropolis



Merseburg ist von Halle an der Saale mit der Bahn in ca. 15 Minuten erreichbar, von Leipzig in einer Stunde.

Gräfenhainichen ist von Halle und Leipzig mit der Bahn in je ca. 45 Minuten erreichbar. Von dort ist Ferropolis zu Fuss in etwas über einer Stunde erreichbar. Von der Bushaltestelle «Gräfenhainichen, Abzweig Ferropolis» sind es ca. 2 km zu Fuss.

Literatur:

Deutsches Chemiemuseum Merseburg, Museumsführer durch den Technikpark, Förderverein «Sachzeugen der chemischen Industrie e.V.», 3. Auflage

Nach den Maschinen, 100 Jahre Industriefotografie aus Sachsen-Anhalt, J. Palatini und C. Drobe (Hg.), Mitteldeutsche Verlag, 2025



chemTour 6 : le « Musée allemand de la chimie » à Merseburg et « Ferropolis » à Gräfenhainichen

Texte et photos : Stefan Mundwiler

32

Nous connaissons tous les musées MINT qui s'occupent principalement de physique, comme le Technorama à Winterthur, ou d'ingénierie, comme le Musée des transports à Lucerne. Nous avons déjà visité des jardins botaniques, des zoos et des musées d'histoire naturelle comme le Muséum d'histoire naturelle de Genève. À Bâle, on trouve le joli musée de la pharmacie, tandis que la géologie est présentée au « focusTerra » à Zurich. Mais existe-t-il également un musée consacré à la chimie ?

Eh bien, à Merseburg se trouve le « Musée allemand de la chimie ». Cependant, il ne ressemble pas du tout à un musée. La plupart des pièces exposées se trouvent à l'extérieur, le site ressemble plutôt à un parc de sculptures (fig. 1). Des objets aux formes étranges, souvent en acier peint en vert, sont répartis dans un vaste espace vert.

Merseburg et les usines Leuna forment un des coins du « triangle chimique d'Allemagne centrale ». Les autres coins de ce triangle sont les usines Buna à Schkopau / Halle et le parc chimique de Bitterfeld. Des produits chimiques y sont fabriqués à grande échelle depuis la Première Guerre mondiale. À l'époque de la RDA, le triangle chimique était un site de production important, mais en raison de l'économie de pénurie, aucun investissement n'y a été réalisé. Les installations étaient donc obsolètes et la pollution de l'environnement préoccupante.



Fig. 1 : À l'intérieur du parc technologique

Après la réunification, la plupart des installations ont été fermées et démantelées. En 1993, l'association « Sachzeugen der Chemischen Industrie » (Témoins matériels de l'industrie chimique) a été fondée. Des professeurs de l'Université technique de Merseburg et d'anciens employés des usines chimiques se sont fixé pour objectif de sauver des installations chimiques intéressantes. Un an plus tard, l'association a pu ouvrir le musée de la chimie.

Les usines de Leuna ont commencé pendant la Première Guerre mondiale à produire de l'ammoniac selon le procédé Haber-Bosch pour la fabrication d'explosifs. Le site en Allemagne centrale a été choisi parce que l'usine BASF de Ludwigshafen était trop proche de la France et que l'on craignait des attaques aériennes. L'attraction principale du parc technologique est une installation de synthèse d'ammoniac, avec un réacteur de 12 mètres de haut datant de 1927 et un



Fig. 2 : l'installation d'ammoniac

énorme compresseur en circuit de 70 tonnes de la même époque (fig. 2).

Plus tard, les usines de Leuna se sont également lancées dans la pétrochimie, d'abord à partir de lignite, puis de pétrole. De nombreuses pièces exposées proviennent du traitement du pétrole et de la production de plastiques : réacteurs, distillateurs, échangeurs de chaleur, pompes (fig. 3 - 5).

Dans les usines Buna situées à proximité, à Schkopau, on fabriquait du caoutchouc synthétique à partir de butadiène et de sodium. Le charbon servait de source de carbone et était transformé en carbure de calcium avec de la chaux vive, qui se décomposait ensuite en éthyne. Parmi les objets exposés provenant des usines Buna, on trouve notamment une machine à bande en caoutchouc et une cellule d'électrolyse à amalgame. L'un des

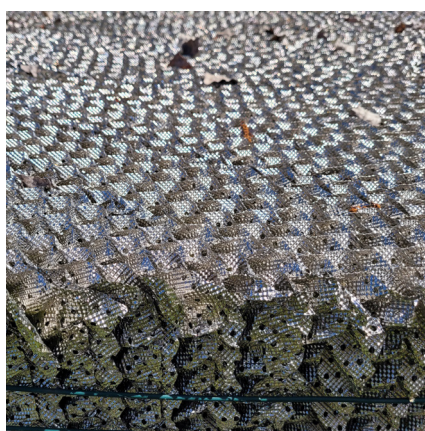


Fig. 3 : Remplissage d'un alambic avec Mellapak

points forts du parc technologique est le train chimique avec une locomotive à vapeur à accumulation. (Fig. 6)

Outre tout l'aspect scientifique, l'humour un peu geek n'est pas en reste. On trouve ainsi dans le parc un cadran solaire composé de divers agitateurs et des « Schrottis », des petits

Fig. 6 : « Plaste aus Schkopau » : le train chimique



Fig. 4 : Refroidisseur à contre-courant, 1967, de Burckhard à Bâle, 30 ans en service



Fig. 5 : Maquette d'une usine pétrochimique

34

bonhommes soudés à partir de déchets métalliques (Fig. 7). J'ai eu la chance d'être très bien accueilli lors de ma visite. Une chimiste qui travaillait dans les usines de Leuna nous a guidés, moi et deux autres visiteurs, pendant plus de deux heures à travers le



Fig. 7 : Des « Schrottis » font visiter le parc technologique

parc technologique. J'ai ainsi appris non seulement de nombreux détails sur les processus chimiques et les installations, mais aussi sur le monde du travail à l'époque de la RDA. L'argent et les matières premières étaient rares, mais il y avait des spécialistes hautement qualifiés qui entretenaient les installations, dont certaines avaient plus de 50 ans. Ils brillaient par leur art de l'improvisation et leur habileté manuelle. Malheureusement, ces qualités n'étaient plus recherchées après la réunification. Aujourd'hui, on jette et on remplace rapidement. De nombreux emplois ont été perdus, les gens se sont retrouvés au chômage.



Le Musée de la chimie de Merseburg nous permet de découvrir une époque en voie d'extinction.

L'industrie chimique consomme de très grandes quantités d'énergie électrique. Dans le triangle chimique d'Allemagne centrale, celle-ci était (et est toujours) produite à partir de lignite. Pour me faire une idée de l'ampleur de l'exploitation du lignite, j'ai visité « Ferropolis » à Gräfenhainichen.

Cinq énormes excavatrices et convoyeurs sont installés sur une péninsule du lac Gremminer See. Le lac Gremminer See est une ancienne mine à ciel ouvert inondée. Les gros engins ont été laissés sur place après la fermeture de la mine et ont été sauvés de la ferraille. Ils se dressent désormais comme des insectes géants d'une époque oubliée et impressionnent par leur taille incroyable et leur agitation d'acier rouillé.

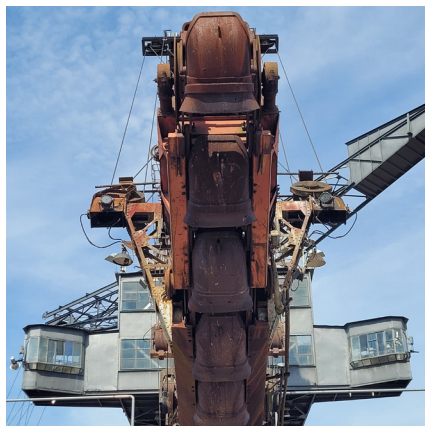


Illustration sur cette page : excavatrices et convoyeurs à « Ferropolis »

Merseburg est accessible en train depuis Halle an der Saale en 15 minutes environ et depuis Leipzig en une heure.

35

Gräfenhainichen est accessible en train depuis Halle et Leipzig en 45 minutes environ. De là, « Ferropolis » est accessible à pied en un peu plus d'une heure. Depuis l'arrêt de bus « Gräfenhainichen, Abzweig Ferropolis », il faut compter environ 2 km à pied.

Bibliographie :

Deutsches Chemiemuseum Merseburg, Museumsführer durch den Technikpark, Förderverein «Sachzeugen der chemischen Industrie e.V.», 3. Auflage

Nach den Maschinen, 100 Jahre Industriefotografie aus Sachsen-Anhalt, J. Palatini und C. Drobe (Hg.), Mitteldeutsche Verlag, 2025



Erfolgreiche Treffer bei chemischen Reaktionen

Text und Abbildungen: Peter Bützer

Zusammenfassung

Um zu verstehen, warum chemische Reaktionen mit einer bestimmten Geschwindigkeit ablaufen, müssen Konzepte wie die Aktivierungsenergie und die Reaktivität eingeführt werden. Dies erfordert ein tiefes Verständnis von Teilchenmodellen, Energie und Wahrscheinlichkeiten, was oft zu komplex ist, denn die chemische Kinetik ist ein mathematisch anspruchsvolles Fachgebiet. Mit der Stosstheorie (Kollisionstheorie), die als Häufigkeiten dargestellt wird, kann ein Paradigmenwechsel zu einem leichteren Verständnis der chemischen Dynamik vollzogen werden.

1. Einleitung

Chemie ist die Wissenschaft der Stoffumwandlungen. Sie erklärt, was sich verändert, warum es geschieht und wie schnell diese Prozesse ablaufen. Doch statt Reaktionsgeschwindigkeiten über abstrakte Differentialgleichungen zu beschreiben, eröffnet sich ein neuer Zugang: über beobachtbare Häufigkeiten¹ und datenbasierte Muster in Form von Konfusionsmatrizen². Diese machen chemische Dynamik greifbarer – besonders in einer Zeit, in der künstliche Intelligenz (KI) den Zugang zu Wissen neu definiert.

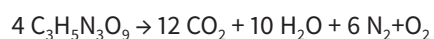
Bildung verändert sich: Weg vom Auswendiglernen, hin zum Verstehen, Anwenden und Interpretieren. Gerade die Chemie bietet hier eine besondere

Chance. Denn KI kann keine Experimente durchführen, sie kann keine Farbveränderungen sehen, keine Gase riechen und keine Temperaturverläufe spüren. Das macht den menschlichen Zugang zur Chemie unersetzlich. Chemische Bildung wird so zur Schnittstelle zwischen digitaler Analyse, sinnlicher Erfahrung und evidenzbasierter Interpretation.

2. Eine chemische Substanz wird zersetzt

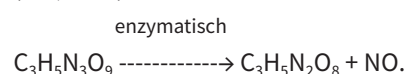
Chemische Dynamik lässt sich nicht auf physikalische Gesetze zurückführen, denn ihre Essenz liegt in den Stoffumwandlungen von Ausgangsstoffen zu Produkten mit neuen Eigenschaften in ihren spezifischen Umgebungen – ein emergentes Verhalten.

Bei der Detonation von verdämmtem Nitroglycerin wird mit einer Geschwindigkeit von etwa dem 20-fachen der Schallgeschwindigkeit in einem Zeitraum von Bruchteilen einer Mikrosekunde bis zu einigen Mikrosekunden die gesamte Energie freigesetzt (Abbildung 1):



Als Medikament gegen akute Angina pectoris-Anfälle (Brustenge) beginnt dasselbe Nitroglycerin, das sublingual (unter der Zunge) eingenommen wird, nach ein bis drei Minuten zu wirken. Es erreicht sein Wirkmaximum nach vier bis fünf Minuten und seine Wirkung

hält etwa 20 bis 30 Minuten an. Das therapeutisch wirksame Molekül ist das sehr reaktive Stickstoffmonoxid (NO, N=O):



Dieses Beispiel macht deutlich, warum es (noch) keine Theorie gibt, welche die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen in verschiedenen Lösungsmitteln oder Umgebungen (Zellen, Umwelt) allgemein berechnen und erklären kann. Diese Dynamiklücke der Chemie ist nach wie vor eine grosse Herausforderung. Erst wenn wir Dynamik als fundamentale Eigenschaft begreifen und nicht als Anhängsel statischer Strukturen, werden wir spannende Systeme besser erfassen und entwickeln können.

3. Häufigkeitsbaum einer Reaktionsgeschwindigkeit

3.1 Stosstheorie/Kollisionstheorie der Chemie

Damit eine chemische Reaktion stattfinden kann, müssen sich die **richtigen Teilchen mit ausreichender Energie und in geeigneter Orientierung treffen**. Nur dann können sich ihre reaktiven Gruppen so nahekommen, dass Elektronen übertragen werden. Die Stosstheorie (auch Kollisionstheorie) erklärt, warum nicht jeder Zusammenstoß zu einer Reaktion führt, sondern nur solche, bei denen treffende Teilchen die Aktivierungs-



Abbildung 1: Detonation von Nitroglycerin (Bild: Sgt. Lucas Hopkins)

Fig. 1 : Détonation de nitroglycérine (photo : Sgt Lucas Hopkins).

energie überwinden und zugleich die räumliche Orientierung günstig ist. Sie ist eine mechanistische Theorie, die den Ablauf chemischer Reaktionen beschreibt. Sie wurde 1916 von dem deutschen Physikochemiker Max Theodor Trautz (1880–1960)³ und 1918 von dem britischen Physikochemiker William Cudmore McCullagh Lewis (1885–1956)⁴ entwickelt. Gemäss dieser Methode sind die Energieverteilung und die räumliche Ausrichtung der Teilchen statistisch verteilt. Als Häufigkeitsbaum chemischer Reaktionen veranschaulicht diese „Blackbox“ die Dynamik mithilfe bedingter Wahrscheinlichkeiten.

Für eine erfolgreiche chemische Reaktion müssen vier Bedingungen erfüllt sein:

1. **Nur reaktive Teilchen sind wirksam (R):** Treffen von reaktiven mit nichtreaktiven Teilchen (z.B. Lösungsmittel, Edelgase in der Luft) sind wirkungslos.

2. **Häufigkeit der Treffer (Stosszahl Z):** Grundvoraussetzung ist, dass die reaktiven Teilchen in Kontakt kommen. Je mehr Teilchen sich auf engem Raum mit hoher Geschwindigkeit bewegen, desto wahrscheinlicher kommt es zu Treffern der reaktiven Teilchen (der Anteil liegt in der Grössenordnung von 0,0001 bis 0,01 %).
3. **Genügend Energie (Aktivierungsenergie E):** Nur der Anteil Teilchen, welche die Aktivierungsenergie überwinden können, reagiert (dieser Anteil ist abhängig von der Reaktivität der Reaktanden und der Energie z.B. Temperatur) (siehe Abbildung 2).
4. **Richtige Orientierung (Orientierungsfaktor O):** Nur die Teilchen mit einer passenden Orientierung (gegenseitige Lage) sind in der Lage, dass sie Elektronen austauschen können (der Anteil liegt in der Grössenordnung von 0,0001 bis 0,1 %).

Die quantitative Form der Stosstheorie⁵ ist $k = Z \cdot O \cdot e^{-E_a/RT}$, mit:

- k: Geschwindigkeitskonstante
- Z: Stossfrequenz (berechenbar aus Teilchendichten, Stossquerschnitt, mittlerer Geschwindigkeit)
- O: Orientierungsfaktor (Wahrscheinlichkeit, dass die Teilchen richtig ausgerichtet stossen)
- E_a : Aktivierungsenergie
- R: Gaskonstante
- T: Temperatur

«Wenn ich etwas lehren will, muss ich es vorher wirklich verstanden haben.»⁶

Ueli Maurer (*1960), Schweizer Kryptologe

Reihenfolge: Die Reaktanden müssen sich treffen. Das ist die Grundvoraussetzung. Die Reaktionsenergie ist eine notwendige Bedingung, um die Aktivierungsenergie als Barriere zu überwinden (Abbildung 2). Die räumliche Orientierung bestimmt schliesslich, ob der energiereiche Stoss effektiv ist (sterischer Faktor der Stosstheorie).

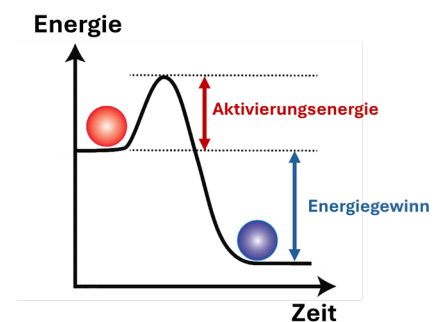
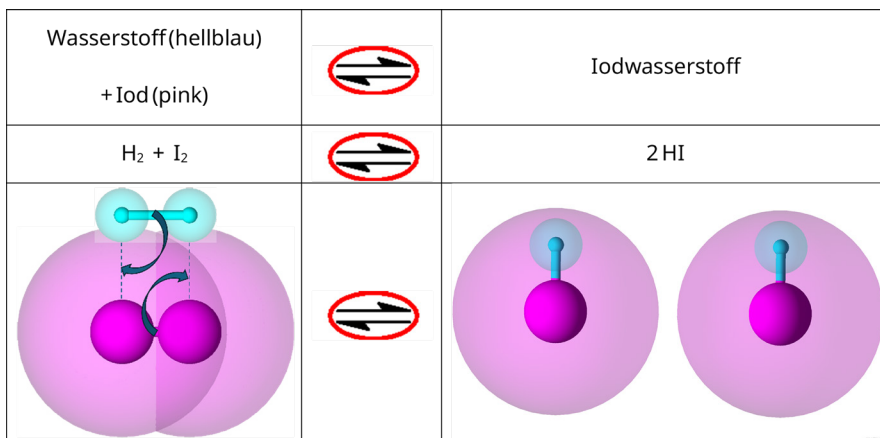


Abbildung 2: Energieverlauf bei einer chemischen Reaktion. Damit eine Reaktion abläuft, muss genügend Energie vorhanden sein, um die Aktivierungsenergie zu überwinden. Die Aktivierungsenergie wird von einem Katalysator herabgesetzt.

Fig. 2 : Évolution de l'énergie lors d'une réaction chimique. Pour qu'une réaction ait lieu, il faut qu'il y ait suffisamment d'énergie pour surmonter l'énergie d'activation. L'énergie d'activation est réduite par un catalyseur.



38

Abbildung 3: Chemische Reaktion von Iod (pink, I_2) mit Wasserstoff (blau, H_2). Aus zwei Teilchen werden wiederum 2 Teilchen (HI). Der wichtigste Teil – die eigentliche Reaktion und Dynamik (rot eingrahmt) – wird in Chemielehrbüchern selten grundlegend diskutiert.

Fig. 3 : Réaction chimique entre le diiode (rose, I_2) et le dihydrogène (bleu, H_2). Deux particules donnent à leur tour deux particules (HI). La partie la plus importante, à savoir la réaction et la dynamique proprement dites (encadrées en rouge), est rarement abordée de manière approfondie dans les manuels de chimie.

Die Stosstheorie ist einer der anschaulichsten Zugänge zur chemischen Kinetik (Dynamik). Sie verbindet mikroskopische Vorstellungen (bewegte Teilchen, Zusammenstöße) mit makroskopischen Beobachtungen (Reaktionsgeschwindigkeit, Einfluss der Temperatur usw.). **Die Stosstheorie bzw. Kollisionstheorie ist gewissermaßen die Grundgrammatik der chemischen Reaktionsgeschwindigkeiten.** Wer sie nicht verstanden hat, kann zwar Formeln auswendig lernen oder Gleichungen anwenden, versteht aber nicht das „Warum“ hinter der Reaktion. Denn eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit, beispielsweise beim Sport, setzt hohe Reaktionsgeschwindigkeiten bei Nerven und Muskeln voraus.

Um diese Zusammenhänge anschaulich darzustellen, eignet sich die Stosstheorie in Verbindung mit einem Teilchenmodell und Häufigkeiten^{7,8}, statt

Wahrscheinlichkeiten. Dabei werden die Bedingungen für eine erfolgreiche Reaktion mit **bedingten Wahrscheinlichkeiten** abgeschätzt. Diese lassen sich grafisch mit sogenannten **Frequenzbäumen** (auch Häufigkeitsbäume genannt^{9,10}), visualisieren. Dazu sind nur die vier Grundoperationen notwendig. So wird deutlich, wie selten „erfolgreiche“ Kollisionen tatsächlich sind und wie sich Temperatur, Konzentration oder Katalysatoren auf diese Wahrscheinlichkeiten auswirken (Abbildung 2).

Das „Spiel“ mit Modellen – also die Übersetzung von **Wirklichkeit** → **Abs-traktion** → **Erklärung** → **Rückbezug auf Beobachtung** – ist kein triviales Handwerk, sondern ein zentraler Bildungsprozess, der weit über die Chemie hinausreicht. Solche Modelle sind Werkzeuge, um Probleme in der realen Welt zu lösen.

3.2 Beispiel: Reaktion von Iod mit Wasserstoff

Am Beispiel der Reaktion von Iod (I_2) mit Wasserstoff (H_2) zu Iodwasserstoff HI), die von Bodenstein 1894 beschrieben wurde¹¹, wird die Methodik der Stosstheorie (Kollisionstheorie) mit Häufigkeiten dargestellt.

Wasserstoff (H-H) und Iod (I-I) müssen sich direkt treffen, also nicht H-H mit H-H oder I-I mit I-I. Nur wenn der Stoss von H-H mit I-I genügend Energie hat, um die Abstossung der negativen Elektronenhüllen zu überwinden und die gegenseitige Orientierung stimmt, findet eine Reaktion statt (Abbildung 3, Abbildung 4).

«Das Treffen von zwei Personen ist wie der Kontakt von zwei chemischen Substanzen: Falls eine Reaktion stattfindet, verwandeln sich beide.»¹²

Carl Gustav Jung (1875-1961), Schweizer Psychologe

«Wir prüfen die Wahrheit, indem wir das Falsche ausscheiden.»¹³

Karl Raimund Popper (1902-1994), britischer Erkenntnisphilosoph

Voraussetzung für eine Reaktion von Iod (I_2) mit Wasserstoff (H_2): Die Teilchen müssen sich im Reaktionsraum (Abbildung 5) treffen.

3.3 Eine chemische Reaktion mit einem Häufigkeitsbaum

Der Ablauf der Reaktionen von Abbildung 3, Abbildung 4 und Abbildung 5 wird mit einem Häufigkeitsbaum (Abbildung 6) dargestellt.

Der Nachteil der üblichen Darstellung von Häufigkeitsbäumen (Abbildung 6) ist, dass Veränderungen mit einem grossen Aufwand verbunden sind. Deshalb wird im Folgenden Excel verwendet. Die so eingesetzte Excel-Tabelle ermöglicht eine leicht veränderliche Darstellung chemischer Prozesse. So können Lernende die Auswirkungen veränderbarer Parameter direkt beobachten. Verändert man beispielsweise die Anfangskonzentration, die zugeführte Energie oder die Orientierung, so zeigt das Modell unmittelbar die Auswirkungen auf die Anzahl der reagierenden Teilchen. Dadurch werden kausale Zusammenhänge sichtbar, Hypothesen können überprüft werden und das Systemverhalten wird erfahrbar. Dies ist ein unschätzbare Vorteil für das Verständnis chemischer Dynamik und Kinetik.

*"Die Schönheit der Chemie liegt nicht im Vorhersagen, sondern im Entdecken dynamischer Komplexität."*¹⁴

Gerhard Ludwig Ertl (*1936), deutscher Physiker und Oberflächenchemiker

3.4 Häufigkeitsbaum dynamisch dargestellt

Mithilfe von Excel werden alle Häufigkeiten gleichzeitig berechnet und Einflüsse auf die molekulare Dynamik interaktiv erfahrbar gemacht (Abbildung 7). Auf diese Weise lassen sich die Grundlagen chemischer Reaktionen erkennen, bedingte Abhängigkeiten (Wahrscheinlichkeiten) darstellen und Modelle interpretieren.

- Anzahl Teilchen (base rate):**
Standardeinstellung:
 1'000'000'000 = 1 Milliarde.
- Anteil aktive Teilchen:** Nur die reaktiven Teilchen H₂ und I₂ können

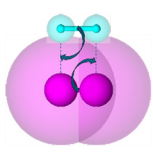
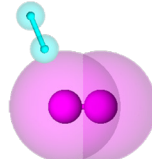
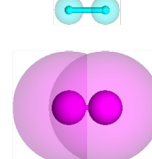
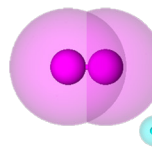
			
Energiegenügend und Orientierung korrekt (Eg-Ok) → reagiert	Energiegenügend und Orientierung falsch (Eg-Of) → reagiert nicht	Energie ungenügend und Orientierung korrekt (Eu-Ok) → reagiert nicht	Energie ungenügend und Orientierung falsch (Eu-Of) → reagiert nicht

Abbildung 4: Verschiedene Varianten von Energie und Orientierung für die Reaktion von Iod mit Wasserstoff. Der Ablauf, der zu diesen Situationen führt, lässt sich mit bedingten Wahrscheinlichkeiten in einem Häufigkeitsbaum darstellen (Abbildung 6).

Fig. 4 : différentes variantes d'énergie et d'orientation pour la réaction du diiode avec le dihydrogène. Le déroulement qui conduit à ces situations peut être représenté à l'aide de probabilités conditionnelles dans un arbre de fréquences (Fig. 6).

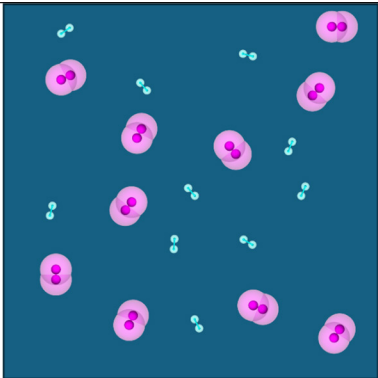
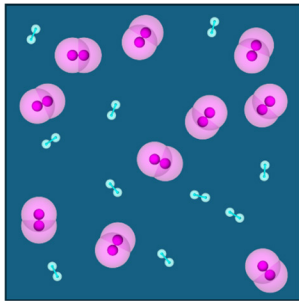
	
Bei gleicher Geschwindigkeit und Temperatur wird die Häufigkeit der Treffer pro Zeiteinheit durch die Grösse des Raumes bestimmt, also durch die Konzentration c als Anzahl der Teilchen n _t pro Volumen V: $c = n_t/V$.	Wird das Volumen bei gleicher Teilchenzahl halbiert, so verdoppelt sich die Konzentration c. Die Häufigkeit der Treffer pro Zeiteinheit verdoppelt sich, sodass die Reaktion doppelt so schnell abläuft.

Abbildung 5: Der Einfluss der Konzentration auf die Häufigkeit der Treffer und damit auf die Reaktionsgeschwindigkeit.

Fig. 5 : influence de la concentration sur la fréquence des résultats positifs et donc sur la vitesse de réaction.

reagieren. In der Umgebungsluft ist der Volumenanteil von Ozon (O₃) meist unter 0,00001 Prozent. Das ist zwar wenig, aufgrund seiner hohen Reaktivität ist Ozon jedoch trotzdem gesundheits- und umweltrelevant. Auch in Lösungs-

mitteln sind reagierende Substanzen meist nur noch in geringem Masse vorhanden. Bei Festkörpern ist hingegen der Verteilungsgrad massgeblich, da nur die Oberfläche reagiert. **Standardeinstellung: 1.**

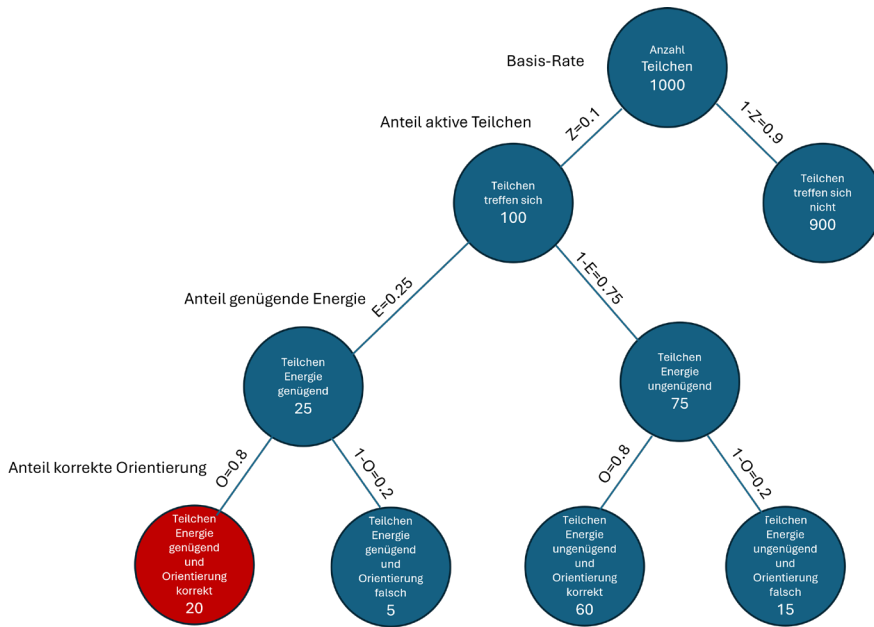


Abbildung 6: Die Stosstheorie für Reaktionsgeschwindigkeiten in der Chemie wird üblicherweise mit einem Häufigkeitsbaum und den bedingten Wahrscheinlichkeiten Z , $(1-Z)$, E , $(1-E)$ und O , $(1-O)$, wie üblich mathematisch dargestellt. Ein Anteil von 0,25 verfügt über genügend Energie, um die Aktivierungsenergie zu überwinden, und ein Anteil von 0,8 weist eine korrekte Orientierung auf. Von den 1000 Teilchen, die sich treffen, reagieren nur die 20 Teilchen, die über genügend Energie verfügen und korrekt orientiert sind (unten links).

Fig. 6 : La théorie des collisions pour les vitesses de réaction en chimie est généralement représentée à l'aide d'un arbre de fréquence et des probabilités conditionnelles Z , $(1-Z)$, E , $(1-E)$ et O , $(1-O)$, selon la représentation habituelle en mathématiques. Une proportion de 0,25 dispose d'une énergie suffisante pour surmonter l'énergie d'activation, et une proportion de 0,8 présente une orientation correcte. Sur les 1000 particules qui se rencontrent, seules les 20 particules qui disposent d'une énergie suffisante et qui sont correctement orientées réagissent (en bas à gauche).

Berechnung der Häufigkeiten:

Annahmen (Reaktion bei Normaltemperatur, Zeitintervall: sec^{-1}):
 Anzahl teilnehmende Teilchen: 1'000'000'000 (1 Milliarde).

- Anteil reaktive Teilchen:** Von 1'000'000'000 Teilchen sind $1'000'000'000 \times 1,0 = 1'000'000'000$ reaktive Teilchen (z.B. bei Festkörpern reagiert nur die Oberfläche (Verteilungsgrad). Nicht reaktive Teilchen sind inerte Substanzen z.B. Edelgase in Luft oder Lösungsmittel).
- Stoss mit Treffer:** Von den 1'000'000 reaktiven Teilchen treffen sich gegenseitig pro Zeit nur $0,0001 \times 1'000'000'000 = 100'000$ Teilchen.
- Anteil Energie (> Aktivierungsenergie):** Von den 100'000 Teilchen haben nur $0,01 \times 100'000 = 1000$ Teilchen pro Zeit eine genügend Energie für eine Reaktion.
- Orientierung korrekt:** Nur $0,001 \times 1000 = 1$ hat pro Zeit eine korrekte Orientierung, also **nur 1 Teilchen** $E_g\text{-}O_k = 1$ reagiert pro Zeitintervall.

- Anteil Treffer (Z):** Die Teilchen bewegen sich und müssen sich treffen. Treffen sich zwei Iod-Teilchen oder zwei Wasserstoff-Teilchen oder treffen diese auf eine Wand, dann sind diese Treffer wirkungslos. **Standardeinstellung: 0,0001.**
- Anteil Energie (E):** Der Anteil der Teilchenenergie muss gross genug sein, um die Aktivierungsenergie zu überwinden. Ein Beispiel hierfür ist das Anzünden eines Streichholzes: Man muss es anreissen, also Energie zuführen.

- Ein weiteres Beispiel ist Popcorn: Nur wenn genug Wärme zugeführt wird, platzt das Maiskorn. Je weniger Energie zugeführt werden muss, desto reaktiver ist das Teilchen. **Standardeinstellung: 0,01.**
- Korrekte Orientierung (O):** Die Lage beim Trefferort muss so sein, dass die Teilchen die für eine Reaktion entscheidenden Elektronen ausgetauscht werden können. Jede richtige Orientierung führt zu einem Treffer mit Reaktion. **Standardeinstellung: 0,001.**

Interpretation von Tabelle 1:

Der geringe Anteil von Teilchen mit korrekter Orientierung und ausreichender Energie ($E_g\text{-}O_k$, TP) im Vergleich zum sehr grossen Anteil mit ungenügender Energie und falscher Orientierung ($E_u\text{-}O_f$, TN) zeigt, dass die vorliegenden Reaktionsbedingungen weit von einem Optimum entfernt sind.

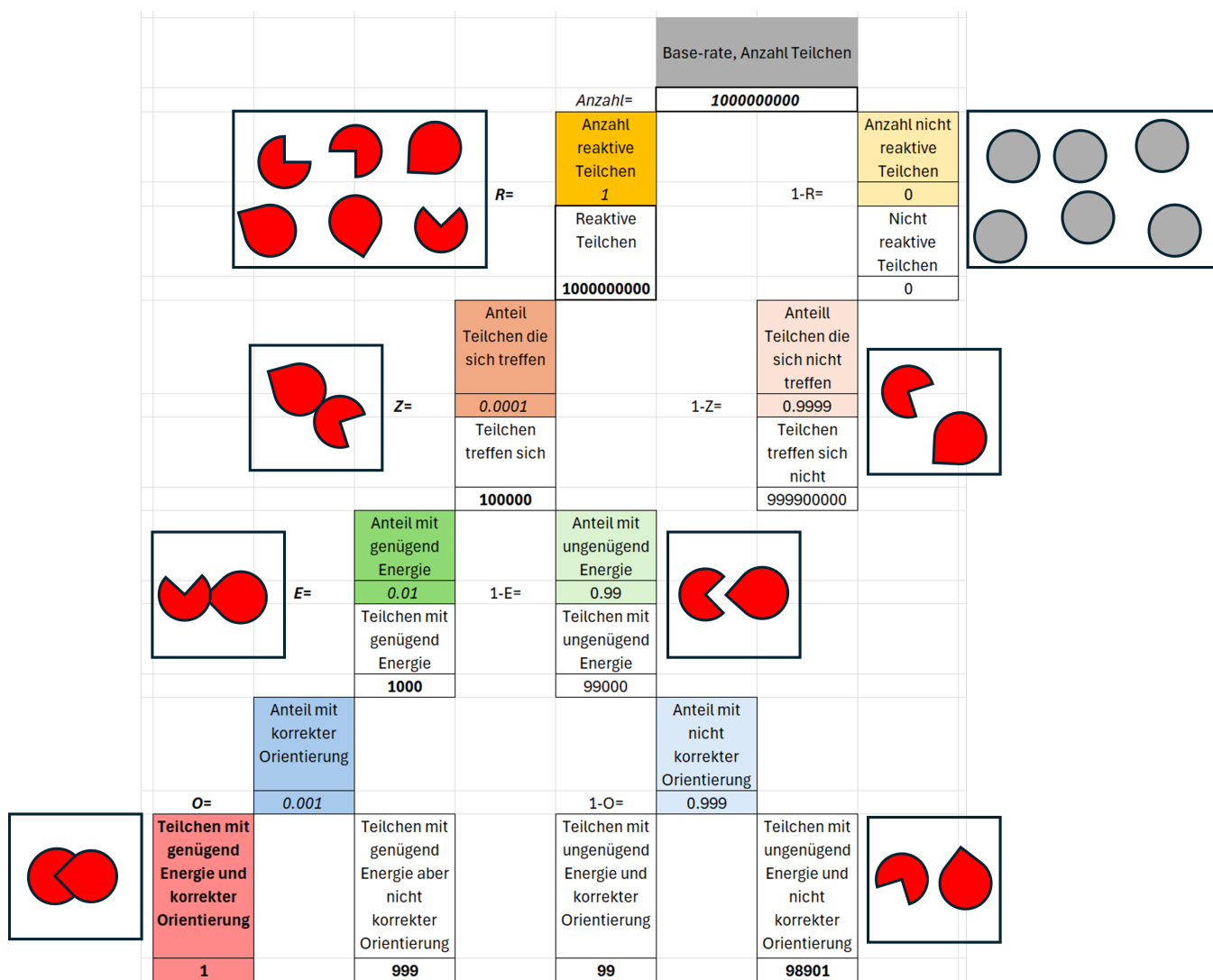


Abbildung 7: Häufigkeitsbaum für die Stosstheorie einer Milliarde Teilchen. Annahmen: Anteil reaktive Teilchen = 1 (Konzentration), Anteil Treffer = 0,0001, Anteil genügend Energie = 0,01, Anteil korrekte Orientierung = 0,001 (Als Wahrscheinlichkeiten müssen die Werte R, Z, E und O immer zwischen 0 und 1 sein) Mit diesen Standardeinstellungen hat nur ein Teilchen genügend Energie und eine korrekte Orientierung (Eg-Ok), um zu reagieren. Der Wert mit genügend Energie und falscher Orientierung (Eg-Of) ist viel grösser als der Wert mit genügend Energie und richtiger Orientierung (Eg-Ok). Dies zeigt, dass bei dieser Einstellung der Parameter der ausreichenden Energie eine grössere Bedeutung zukommt als der korrekten Orientierung. Der Wert mit ungenügender Energie und falscher Orientierung (Eu-Of) ist am grössten. Das heisst, dass Energie und Orientierung weit von einem Reaktions-Optimum entfernt sind.

Fig. 7 : Arbre de fréquence pour la théorie des collisions d'un milliard de particules. Hypothèses : proportion de particules réactives = 1 (concentration), proportion de collisions = 0,0001, proportion d'énergie suffisante = 0,01, proportion d'orientation correcte = 0,001 (en tant que probabilités, les valeurs R, Z, E et O doivent toujours être comprises entre 0 et 1.) Avec ces paramètres par défaut, seule une particule dispose d'une énergie suffisante et d'une orientation correcte (Eg-Ok) pour réagir. La valeur avec une énergie suffisante et une orientation incorrecte (Eg-Of) est beaucoup plus élevée que la valeur avec une énergie suffisante et une orientation correcte (Eg-Ok). Cela montre qu'avec ce réglage, le paramètre de l'énergie suffisante revêt une plus grande importance que l'orientation correcte. La valeur avec une énergie insuffisante et une orientation incorrecte (Eu-Of) est la plus élevée. Cela signifie que l'énergie et l'orientation sont loin d'être optimales pour la réaction.

(Eg : Energie suffisante (« genügend »), Eu : Energie insuffisante (« ungenügend »), Ok : Orientation correcte (« korrekt »), Of : Orientation incorrect (« falsch »), TP : True Positive, TN : True Negative)

Tabelle 1: Konfusionsmatrix für die chemische Reaktion aus Abbildung 7. Der Treferteil beträgt 0,001, sodass lediglich eine 1'000'000 Teilchen reagieren können. Es reagieren nur Teilchen, deren Aktivierungsenergie (Eg) hinreichend hoch und deren Orientierung (Ok) korrekt ist. Alle anderen Teilchen haben entweder zu wenig Aktivierungsenergie oder eine falsche Orientierung.

Tableau 1 : Matrice de confusion pour la réaction chimique de la Fig. 7. Le taux de réussite est de 0,001, ce qui signifie que seules 1'000'000 particules peuvent réagir. Seules les particules dont l'énergie d'activation est suffisamment élevée (Eg) et dont l'orientation est correcte (Ok) réagissent. Toutes les autres particules ont soit une énergie d'activation insuffisante, soit une orientation incorrecte.

	Energie genügend, Eg	Energie ungenügend, Eu	Kontrolle
Orientierung korrekt, Ok-	True Positive = TP Eg-Ok = 1	False Positive = FP Eu-Ok = 99	TP + FP 100
Orientierung falsch, Of	False Negative = FN Eg-Of = 999	True Negative = TN Eu-Of = 98901	FN + TN 99900

Folgerung:

Von den eine Milliarde Teilchen ist bei der chemischen Reaktion im Zeitintervall von einer Sekunde nur ein Teilchen reaktiv – und das, obwohl es sich um eine chemisch reaktive Substanz handelt. Diese intuitive Fehleinschätzung könnte man mit dem Bayes'schen Fehlschluss (auch Base-Rate-Fehlschluss) erklären. Dabei wird die Grundwahrscheinlichkeit des Ereignisses (eine Milliarde Teilchen) ignoriert und stattdessen nur auf neue Informationen konzentriert.

Die Methodik der Häufigkeitsbäume ist besonders wertvoll, um bedingte Wahrscheinlichkeiten auf leicht verständliche Weise zu beurteilen. Sie ermöglicht einen evidenzbasierten Umgang mit Unsicherheiten und fördert somit die Risikokompetenz, die heutzutage von grosser Bedeutung ist.

Diese Methode kann in den unterschiedlichsten Fachbereichen eine Kernkompetenz sein..

3.5 Reaktionsgeschwindigkeit mit der Kollisionstheorie

Nur ein Bruchteil aller Kollisionen erfüllt alle vier Bedingungen. Diese nennt man effektive Kollisionen -> Eg-Ok. Die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante k (Einheit: s⁻¹) beschreibt den Anteil der effektiven Kollisionen an der Anzahl Teilchen (base rate) pro Zeit. Die grob geschätzte Halbwertszeit (HWZ) $t_{1/2} = \ln(2)/k$ (Einheit: s) als Reaktions-Zeit ist in einfachen Fällen dann ein ungefähreres, anschauliches

Mass für die Reaktionsgeschwindigkeits-Konstante k.

Wenn die Aktivierungsenergie erniedrigt wird, steigt die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Reaktion und damit für mehr reaktive Teilchen (Eg-Ok). Die Orientierung kann als Faktor verändert werden. Sie wird jedoch durch die Art und Struktur der Teilchen (Moleküle, Ionen, Oberflächen, sterische Hinderung) sowie durch die Art und Struktur der Katalysatoren (z. B. Enzyme) bestimmt.

Video: <https://phet.colorado.edu/de/simulations/reactions-and-rates>

Folgerung:

Eine Erniedrigung der Aktivierungsenergie und eine Verringerung des Volumens (d. h. eine Erhöhung der Konzentration, Vergrösserung vom Verteilungsgrad bei Festkörpern) steigern die Häufigkeit, mit der sich die Moleküle treffen.

Die Orientierung der Teilchen beim Zusammentreffen kann durch Lösungsmittel, Bindungen an Oberflächen und Katalysatoren beeinflusst werden.

“Satisfaction of one's curiosity is one of the greatest sources of happiness in life.”¹⁵

Linus Carl Pauling (1901-1994), amerikanischer Chemiker

$$\text{Reaktionsgeschwindigkeit} = \frac{\text{Teilchen (Energie genügend und Orientierung korrekt)}}{\text{Anzahl Teilchen (base rate)} \times \text{Zeit}}$$

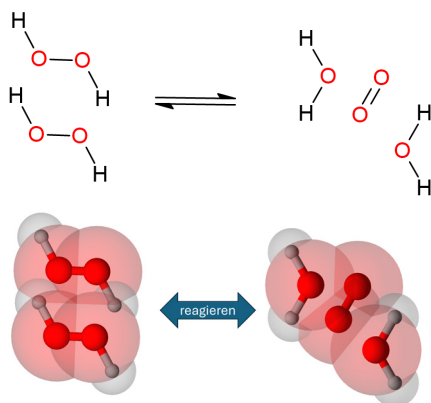


Abbildung 8: Zwei Wasserstoffperoxide (H_2O_2) zerfallen in zwei Wasser (H_2O) und ein Sauerstoff (O_2) Molekül. In Realität ist diese Reaktion viel komplexer:
 $H_2O_2 \rightarrow 2 \cdot OH$ (Radikale);
 $H_2O_2 + \cdot OH \rightarrow H_2O + \cdot O_2H$;
 $\cdot O_2H + H_2O_2 \rightarrow O_2 + H_2O + \cdot OH$;
 $\cdot OH + \cdot OH \rightarrow H_2O_2$;
 $2 \cdot OH + 2 \cdot O_2H \rightarrow 2 H_2O + O_2$.
 Aber als Summenreaktion lässt sich der Zerfall trotzdem mit der Stosstheorie als Grundprinzip darstellen.

Fig. 8 : Deux molécules de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) se décomposent en deux molécules d'eau (H_2O) et une molécule de dioxygène (O_2). En réalité, cette réaction est beaucoup plus complexe :
 $H_2O_2 \rightarrow 2 \cdot OH$ (radicaux) ;
 $H_2O_2 + \cdot OH \rightarrow H_2O + \cdot O_2H$;
 $\cdot O_2H + H_2O_2 \rightarrow O_2 + H_2O + \cdot OH$;
 $\cdot OH + \cdot OH \rightarrow H_2O_2$;
 $2 \cdot OH + 2 \cdot O_2H \rightarrow 2 H_2O + O_2$.
 Mais en tant que réaction globale, la décomposition peut néanmoins être représentée selon le principe de base de la théorie des collisions.

Die Prinzipien der Reaktionen können mit dem vorliegenden Häufigkeitsbaum der Stosstheorie abgebildet werden. Sehr oft fällt es jedoch schwer, Reaktionsgeschwindigkeits-Konstanten zu interpretieren. Daher ist das Excel-Modell erweitert worden, indem die Reaktionsgeschwindigkeits-Konstante (k) in eine grob geschätzte Halbwertszeit (HWZ) mit $HWZ = \ln(2)/k$ umgerechnet wird – was lange dauert läuft langsam, was kurz dauert läuft rasch. Das gilt immer, wenn die Ausgangskonzentration berücksichtigt wird, hier als Anteil reaktive Teilchen.

Tabelle 2: Zusammenhang zwischen Aktivierungsenergie und Reaktionsgeschwindigkeit ist exponentiell invers: Schon eine relativ geringe Erhöhung der Aktivierungsenergie führt zu einem drastischen Abfall der Reaktionsgeschwindigkeit.

Tableau 2 : La relation entre l'énergie d'activation et la vitesse de réaction est inversement exponentielle : même une augmentation relativement faible de l'énergie d'activation entraîne une baisse drastique de la vitesse de réaction.

43

Aktivierungsenergie: E_a (kJ/mol)	Geschwindigkeitskonstante k (relativ)	Reaktionsgeschwindigkeit	Beispiel (qualitativ)
Sehr niedrig (10-20)	$10^5 - 10^0$ (sehr gross)	Extrem schnell, explosionsartig	Viele Radikalreaktionen, Ionenreaktionen, Verbrennungen mit geringer E_a
Niedrig (20-40)	$10^0 - 10^{-5}$	Sehr schnell, Augenblicksreaktionen	Typische Säure-Base-Reaktionen, schnelle Fällungsreaktionen
Mittel (40-80)	$10^{-5} - 10^{-10}$	Schnell bis moderat, Sekunden bis Minuten	Die meisten Reaktionen in der organischen Chemie bei Raumtemperatur
Hoch (80-120)	$10^{-10} - 10^{-15}$	Langsam, Minuten bis Stunden	Viele Hydrolysen, langsame Polymerisationen
Sehr hoch (120-180)	$10^{-15} - 10^{-25}$	Sehr langsam, Tage bis Jahre	Einige Festkörperreaktionen, Zersetzung von Mineralien
Extrem hoch (>180)	$< 10^{-25}$	Extrem langsam, Jahrhunderte bis Jahrtausende	Geologische Prozesse, Zerfall von stabilen Molekülen ohne Katalysator

3.6 Zerfall von Wasserstoffperoxid: $2 H_2O_2 \rightarrow 2 H_2O + O_2(g)$

Experiment und Theorie

Simulation mit der Stosstheorie und Darstellung als Häufigkeitsbaum

Wasserstoffperoxid-Lösung 30 % (w/w) in H_2O (enthält Stabilisator) -> Experimentell (Lagerfähigkeit von H_2O_2 , 25°C, pH: 7): Reaktionsgeschwindigkeitskonstante $k \approx 3.19 \cdot 10^{-10} s^{-1}$

Anteil reaktive Teilchen: 0.3 (30% Konzentration)

Pro Zeit: Anteil Treffer: 0.0001 (abgeschätzt); Anteil reaktive Teilchen: 0.3 (30%ige Lösung), Anteil genügend Energie: 0.1 (läuft bei Raumtemperatur, daher ist genügend vorhanden), Orientierung korrekt: 0.001 (abgeschätzt).

Beobachtung: Wasserstoffperoxid in einer 30%igen Lösung ist stabil und über mehrere Jahre haltbar, weshalb in Tagen kein Zerfall beobachtet werden kann.

Interpretation:

Das Stossmodell gibt mit einer Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten von $3 \cdot 10^{-9} [s^{-1}]$ das experimentelle Ergebnis von $k \approx 3.19 \cdot 10^{-10} [s^{-1}]$ recht gut wieder. Das heisst, Wasserstoffperoxid zersetzt sich bei Raumtemperatur mit einer ungefähren Halbwertszeit von 7 Jahren so langsam, dass der Zerfall nicht direkt zu beobachten ist.

Das Excel-Modell erlaubt die spielerische Variation der wichtigsten Para-

				Base-rate, Anzahl Teilchen	
				Anzahl=	100000000
				Anzahl reaktive Teilchen 0.3	Anzahl nicht reaktive Teilchen 0.7
				R=	1-R=
				Reaktive Teilchen	Nicht reaktive Teilchen
				300000000	700000000
				Anteil Teilchen die sich treffen	Anteil Teilchen die sich nicht treffen
				Z=	1-Z=
				0.0001	0.9999
				Teilchen treffen sich	Teilchen treffen sich nicht
				30000	299970000
				Anteil mit genügend Energie	Anteil mit ungenügend Energie
				E=	1-E=
				0.1	0.9
				Teilchen mit genügend Energie	Teilchen mit ungenügend Energie
				3000	27000
				Anteil mit korrekter Orientierung	Anteil mit nicht korrekter Orientierung
				O=	1-O=
				0.001	0.999
				Teilchen mit genügend Energie und korrekter Orientierung	Teilchen mit ungenügend Energie und nicht korrekter Orientierung
				3	26973
Reaktionsgeschwindigkeitskonstante =		3E-09		Reaktions-Zeit ca. =	
		7		Jahre	

Abbildung 9: Häufigkeitsbaum für den Zerfall von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) mit Anteil reaktive Teilchen: 0.3 (30% Konzentration), Anteil Treffer: 0.0001, Anteil genügend Energie 0.1, korrekte Orientierung 0.001. Daraus folgt, dass es nur 3 reaktive Teilchen ($Eg-Ok$) = 3 auf $10^9 = 3 \cdot 10^9 [s^{-1}]$ hat. Die grob geschätzte Halbwertszeit mit $HWZ = \ln(2)/k$ ist dann 7 Jahre, was ziemlich realistisch ist.

Fig. 9 : Arbre de fréquence pour la désintégration du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) avec une proportion de particules réactives = 0,3 (concentration = 30 %), proportion de collisions = 0,0001, proportion d'énergie suffisante = 0,1, orientation correcte = 0,001. Il en résulte qu'il n'y a que 3 particules réactives ($Eg-Ok$) = 3 sur $10^9 = 3 \cdot 10^9 [s^{-1}]$. La demi-vie approximative $HWZ = \ln(2)/k$ est alors de 7 ans, ce qui est assez réaliste..

meter, welche die Reaktionsgeschwindigkeit einer chemischen Reaktion bestimmen und geben so ein Gefühl dafür, wie sich die Geschwindigkeit beeinflussen lässt.

3.7 Zerfall von Wasserstoffperoxid mit Katalysator

Katalysierter Zerfall von Wasserstoffperoxid (H₂O₂) mit Iodid (KI); hängt stark von der Iodid Konzentration als Katalysator und dem pH-Wert ab: Experimentell: $k = 0.001-0.01 \text{ [s}^{-1}\text{]}$.

Einstellungen z.B.: Anteil reaktive Teilchen: 0.3, Anteil Treffer: 0.001 (Dipole), Anteil genügend Energie: 0.3, korrekte Orientierung: 0.001, Dann folgt: Eg-Ok = $1'188'000$; $k = 10^9/1188000 = 0.0012 \text{ [s}^{-1}\text{]}$.

Biochemisch katalysierte Reaktion^{16,17}, (z. B. durch das Enzym Katalase) laufen viel schneller ab: $k = 10^6 - 10^7 \text{ [s}^{-1}\text{]}$, ein Faktor 1000 bis 100'000 rascher als die mit Iodid katalysierte Reaktion. Eines der schnellsten bekannten Enzyme ist die Katalase. Sie katalysiert die Zersetzung von Wasserstoffperoxid (H₂O₂) in Wasser (H₂O) und Sauerstoff (O₂). Ein Enzym kann pro Sekunde bis zu 10'000'000 (zehn Millionen) der reaktiven Substratmoleküle umsetzen (Turnover Frequency: TOF).

Der Mechanismus der Katalase umfasst mehrere Schritte, bei denen Eisen-Porphyrin-Moleküle im aktiven Zentrum des Enzyms die Elektronenübertragung erleichtern:

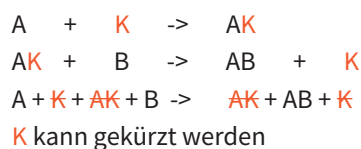
- Enzym-Fe(III) + H₂O₂ → Enzym-Fe(IV)=O + H₂O
- Enzym-Fe(IV)=O + H₂O₂ → Enzym-Fe(III) + O₂ + H₂O

So werden zwei Moleküle H₂O₂ in einem Zyklus unter Beteiligung des Eisens zu H₂O und O₂ umgewandelt, ohne dass das Enzym als Katalysator selbst verbraucht wird.

Katalasen befinden sich in fast allen aerob lebenden Lebewesen, beim Menschen vor allem in den Peroxisomen der Leber und Nieren sowie den Erythrozyten und verhindern Oxidationen, die zu Schäden führen können.

3.8 Wie funktioniert der Katalysator

Ein Katalysator (K) ist eine Substanz, welche an der Reaktion $A + B \rightarrow AB$ teilnimmt, diese beschleunigt, dabei aber nicht aufgebraucht wird.



Ein Katalysator K darf die Reaktanten A und B nicht zu stark binden, da er sich sonst nicht mehr trennen kann, und auch nicht zu schwach, da er sonst nicht wirkt. Dies entspricht dem Sabatier-Prinzip (wie Goldlöckchen und die drei Bären, die Goldilocks-Zone).

Enzyme, ein Wunder der Effizienz

Enzyme sind riesige Proteine mit winzigen aktiven Zentren (< 5% der Oberfläche), sie **beschleunigen Reaktionen um das 10⁶-10¹⁷-fache**. Dies gelingt durch:

1. **Anteil Treffer¹⁸**: Oberflächennahe Substrate diffundieren bei Enzymen ~100-1000-mal schneller zum aktiven Zentrum als in Lösung, sie nutzen elektrostatische Felder als "molekulare Trichter". Geladene aktive Zentren ziehen Substrate via Coulomb-Kräften an und erhöhen die Bindungswahrscheinlichkeit 10-1000-fach.

2. **Aktivierungsenergie-Senkung¹⁹**: Durch Stabilisierung des Übergangszustands wird ΔG^\ddagger um 30-100 kJ/mol reduziert – das allein bewirkt ~10⁵-10¹⁶-fache Beschleunigung.
3. **Orientierungszwang²⁰**: Im aktiven Zentrum des Enzyms wird die korrekte Geometrie erzwungen (~10³-10⁴-fache Verbesserung der Orientierungswahrscheinlichkeit).

Enzyme sind ein Beispiel für eine ausserordentliche Effizienz, welche die Natur erreichen kann.

Experiment: Eine Kartoffel wird zerschnitten und die frisch geschnittene Schnittfläche mit einer Pipette mit Wasserstoffperoxid (5-30 %) benetzt.

Ergebnis: Es bildet sich sofort ein Schaum, der durch den freiwerdenden Sauerstoff entsteht. Verantwortlich dafür ist das Enzym Katalase in der Kartoffel.

«Die Allgemeingültigkeit der allem zugrundeliegenden Chemie des Lebens ist in der Tat etwas Phantastisches, etwas Wunderschönes.»²¹

Richard P. Feynman (1918-1988), amerikanischer Physiker, Nobelpreisträger

Konzentration ist der Anteil reaktiver Teilchen pro Volumen.

$$\text{Konzentration} = \frac{\text{Anteil reaktiver Teilchen}}{\text{Volumen}}$$

Je höher die Konzentration, desto grösser ist die Zahl möglicher Zusammenstösse. Doch nicht jede Kollision führt zu einer Reaktion: Nur Teilchen mit

ausreichender Energie und korrekter Orientierung können reagieren. Die Reaktionsgeschwindigkeit hängt somit von zwei Faktoren ab: der Konzentration der reaktiven Teilchen und der Wahrscheinlichkeit erfolgreicher Kollisionen, die von Energie und Orientierung abhängt.

46

Diese dynamischen Zusammenhänge lassen sich mit dem Teilchenmodell und Frequenzbäumen visualisieren.

Folgerungen:

- Die chemische Reaktivität der Teilchen bestimmt die Reaktionsgeschwindigkeit direkt. Sie beschreibt die Fähigkeit, mehr oder weniger leicht eine Reaktion einzugehen, und wird durch die Aktivierungsenergie bestimmt. Das ist die minimal notwendige Energie, um bei einem Treffer erfolgreich zu sein.
- Wenn die Anteile reaktiver Teilchen an den Anzahl Teilchen steigen, dann steigt die Konzentration. Und die Konzentration ist ca. proportional der Reaktionsgeschwindigkeit.
- Je höher die genügende Energie ist (abhängig von der Aktivierungsenergie) desto grösser ist die Reaktionsgeschwindigkeit. Eine Temperaturerhöhung um 10°C erhöht die Reaktionsgeschwindigkeit um einen Faktor 2-3 (ungefähr exponentiell).
- Je schlechter der reaktive Teil der reaktiven Teilchen zugänglich ist, desto schwieriger ist es korrekte Orientierung für einen Treffer zu finden.

Mit dem Ausgangswert, der Base-rate, der Anzahl Teilchen von 1 Milli-

				Base-rate, Anzahl Teilchen	
				Anzahl=	100000000
				Anzahl reaktive Teilchen	0.3
				Reaktive Teilchen	30000000
				Anzahl nicht reaktive Teilchen	700000000
				1-R=	0.7
				Nicht reaktive Teilchen	700000000
				Anteil Teilchen die sich treffen	Z= 0.03
				Teilchen treffen sich	9000000
				Anteil Teilchen die sich nicht treffen	1-Z= 0.97
				Teilchen treffen sich nicht	291000000
				Anteil mit genügend Energie	E= 0.99
				Teilchen mit genügend Energie	8910000
				Anteil mit ungenügender Energie	1-E= 0.01
				Teilchen mit ungenügender Energie	90000
				Anteil mit korrekter Orientierung	O= 0.99
				Teilchen mit genügend Energie aber nicht korrekter Orientierung	89100
				Anteil mit nicht korrekter Orientierung	1-O= 0.01
				Teilchen mit ungenügender Energie und korrekter Orientierung	89100
				Teilchen mit ungenügender Energie und nicht korrekter Orientierung	900
Reaktionsgeschwindigkeitskonstante =		0.0088209		Reaktionszeit ca. = 79 Sekunden	

Abbildung 10: Die Wirkung des Enzyms Katalase als Katalysator führt zu einer Steigerung der Trefferzahl (von 0,0001 auf 0,03), da das Substrat über das elektrische Feld eingeschleust wird. Der Anteil an ausreichender Energie beträgt 0,99 und die Orientierung im aktiven Zentrum ist perfekt (Erhöhung von 0,001 auf 0,99). Insgesamt ergibt sich somit eine Steigerung der Reaktivität um den Faktor 5 Millionen! Enzyme sind exzellente Katalysatoren, hier ein Reaktionsbeschleuniger um einen Faktor von ca. 3 Millionen (Vergleich mit Abbildung 9).

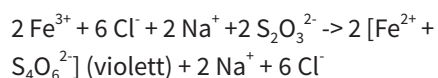
Fig. 10 : L'effet de l'enzyme catalase en tant que catalyseur entraîne une augmentation du nombre de résultats positifs (de 0,0001 à 0,03), car le substrat est introduit par le champ électrique. La part d'énergie suffisante est de 0,99 et l'orientation dans le centre actif est parfaite (augmentation de 0,001 à 0,99). Au total, cela se traduit par une augmentation de la réactivité d'un facteur 5 millions ! Les enzymes sont d'excellents catalyseurs, ici un accélérateur de réaction d'un facteur d'environ 3 millions (comparaison avec la Fig. 9).

arde (1'000'000'000) ist im Vergleich zu den realen chemischen Reaktionen ein sehr, sehr kleiner Wert angesetzt. Diese Base-rate beschränkt dann als Folge den möglichen Bereich für Reaktionsgeschwindigkeiten, resp. Reaktionszeiten. Wie Tabelle 2 zeigt, be-

trägt dieser 30 Potenzen! Erweiterungen des Modells sind somit möglich, allerdings lassen sich die Werte der Häufigkeiten dann spielerisch nicht mehr so leicht vergleichen und interpretieren.

3.9 Bestimmung der Reaktionsgeschwindigkeit ohne und mit Katalysator

Experiment 1²²: Man gibt in einem kleinen Becherglas 20 ml 0.1 mol/l Eisen(III)-chlorid (FeCl₃) - zu 20 ml 0,1 mol/l Natriumthiosulfat (Na₂S₂O₃) - Lösung.



Man bestimmt die Zeit bis zum Verschwinden der rotviolettten Farbe (es bleibt eine Gelbfärbung auch am Schluss der Reaktion, verursacht durch [Fe(H₂O)₆]²⁺).

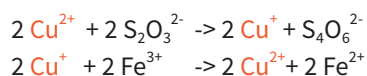
Experiment 2: Der obige Versuch wiederholt, jedoch rührt man die FeCl₃-Lösung 5 bis 10 Sekunden mit einem sauberen **Kupferdraht**, bevor man sie zur Thiosulfat Lösung giesst.

Katalysator: Kupferionen vom Kupferdraht

Beobachtung: Die Reaktion läuft bei mit dem Kupferdraht gerührten Experiment 2 viel rascher!

Erklärung:

Kupferionen (Cu²⁺) vermitteln den Elektronentransfer durch Zwischenstufen:



Die Kupferionen werden nicht verbraucht, sondern durchlaufen einen Redox-Zyklus, müssen sich binden aber auch wieder lösen können (Sabatier-Prinzip):



Bestätigung der Theorie:

Experiment 3: Um den Nachweis zu bringen, dass Kupfer-Ionen katalytisch wirken können, wiederholt man den Versuch von Experiment 1, gibt jedoch 1 Tropfen 0.1 mol/l CuSO₄-Lösung zur Thiosulfat Lösung, bevor man sie zur Eisenchlorid Lösung giesst.

Folgerung:

Sauberstes Arbeiten ist in der Chemie sehr wichtig. Schon kleinste Mengen können katalytisch wirken und eine Reaktion massiv beeinflussen und: Metallspatel sollten zum Rühren nicht verwendet werden!

Katalysatoren erhöhen nicht nur die Trefferzahl, sondern positionieren Reaktanden auch präzise und senken die Aktivierungsenergie.

Interessant ist, dass die möglichen Einstellungen für leicht beobachtbare

*Tabelle 3: Reaktionsbeschleunigung
Tableau 3 : Accélération de la réaction.*

Bedingung	Geschätzte Reaktionsdauer	Geschwindigkeitsfaktor
Ohne Kupfer	5–10 min	1×
Mit wenig Kupfer	30–60 s	~ 10×
Mit optimaler Cu ²⁺ -Dosis	<1 s	~ 1'00–100'00×

Reaktionsgeschwindigkeiten im Bereich von Sekunden bis Minuten sehr begrenzt sind.

3.10 das Enzym Urease

Enzyme sind biologisch hochaktive Proteine, die als Katalysatoren in lebenden Organismen wirken. Sie beschleunigen chemische Reaktionen, indem sie die Aktivierungsenergie senken, ohne dabei selbst verbraucht zu werden. Enzyme sind hochspezifisch für ihre Substrate. Normalerweise katalysiert jedes Enzym nur eine bestimmte Reaktion oder eine Gruppe von sehr ähnlichen Reaktionen. Da Enzyme bei der Reaktion nicht verbraucht werden, können sie zahlreiche Reaktionen katalysieren, bevor sie denaturieren oder abgebaut werden (Daten z.B.²³).

Urease, ein Protein aus 2319 Aminosäuren, ist das erste Enzym, das 1926 in kristallisierter Form von Oktaedern aus Jackbohnen (*Canavalia ensiformis*) gewonnen wurde (Abbildung 13). Dafür erhielt der Amerikaner James Batcheller Sumner (1887–1955) im Jahr 1946 den Nobelpreis.

Durch die Katalysator-Aktivität des Enzyms wird die Reaktionsgeschwindigkeit

48

		Base-rate, Anzahl Teilchen	
		Anzahl=	Anzahl nicht reaktive Teilchen
		100000000	
	R=	Anzahl reaktive Teilchen 0.1	Anzahl nicht reaktive Teilchen 0.9
		Reaktive Teilchen 100000000	Nicht reaktive Teilchen 900000000
	Z=	Anteil Teilchen die sich treffen 0.1	Anteil Teilchen die sich nicht treffen 0.9
		Teilchen treffen sich 10000000	Teilchen treffen sich nicht 900000000
	E=	Anteil mit genügend Energie 0.6	Anteil mit ungenügend Energie 0.4
		Teilchen mit genügend Energie 6000000	Teilchen mit ungenügend Energie 4000000
	O=	Anteil mit korrekter Orientierung 0.3	Anteil mit nicht korrekter Orientierung 0.7
		Teilchen mit genügend Energie und korrekter Orientierung 1800000	Teilchen mit ungenügend Energie und nicht korrekter Orientierung 2800000
		Teilchen mit genügend Energie aber nicht korrekter Orientierung 4200000	Teilchen mit ungenügend Energie und korrekter Orientierung 1200000
Reaktionsgeschwindigkeitskonstante =	0.0018	Reaktionszeit ca. =	385 Sekunden

		Base-rate, Anzahl Teilchen	
		Anzahl=	Anzahl nicht reaktive Teilchen
		100000000	
	R=	Anzahl reaktive Teilchen 0.1	Anzahl nicht reaktive Teilchen 0.9
		Reaktive Teilchen 100000000	Nicht reaktive Teilchen 900000000
	Z=	Anteil Teilchen die sich treffen 0.2	Anteil Teilchen die sich nicht treffen 0.8
		Teilchen treffen sich 20000000	Teilchen treffen sich nicht 800000000
	E=	Anteil mit genügend Energie 0.95	Anteil mit ungenügend Energie 0.05
		Teilchen mit genügend Energie 19000000	Teilchen mit ungenügend Energie 1000000
	O=	Anteil mit korrekter Orientierung 0.6	Anteil mit nicht korrekter Orientierung 0.4
		Teilchen mit genügend Energie und korrekter Orientierung 11400000	Teilchen mit ungenügend Energie und nicht korrekter Orientierung 400000
		Teilchen mit genügend Energie aber nicht korrekter Orientierung 7600000	Teilchen mit ungenügend Energie und korrekter Orientierung 600000
Reaktionsgeschwindigkeitskonstante =	0.0114	Reaktionszeit ca. =	61 Sekunden

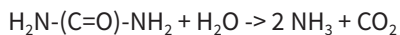
Abbildung 11: Reaktion von Natriumthiosulfat mit Eisen(II)-chlorid. Vergleiche auch mit Tabelle 3.

Fig. 11 : Réaction du thiosulfate de sodium avec le chlorure de fer (II). Comparer également avec le tableau 3.

Abbildung 12: Die Reaktion von Natriumthiosulfat mit Eisen(II)-chlorid mit Kupfer als Katalysator ist ca. 6-mal schneller als Abbildung 11.

Fig. 12 : La réaction du thiosulfate de sodium avec le chlorure de fer (II), avec du cuivre comme catalyseur, est environ 6 fois plus rapide que celle de la Fig. 11.

keit der Hydrolyse von Harnstoff sehr stark, etwa um den Faktor 10^{14} erhöht:



Die Bindung vom Harnstoff [$\text{H}_2\text{N}-(\text{C}=\text{O})-\text{NH}_2$] im Zentrum geschieht mit 2 Nickelatomen (Ni^{2+}) und schwächt so die Bindungen, was die Aktivierungsenergie herabsetzt.

Experiment²⁵⁻²⁹: Harnstoff reiner Form zersetzt sich ab der Schmelztemperatur (ca. 133°C), was sich am Geruch von Ammoniak zeigt, wenn man Harnstoff im Reagenzglas erhitzt.

Da beim Zerfall von Harnstoff in wässriger Lösung Ionen entstehen ($\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$), lässt sich

die zeitliche Zunahme der Ionen über Leitfähigkeitsmessung verfolgen.

Die Reaktion kann auch fotometrisch verfolgt werden. Hierbei wird als Indikator Bromthymolblau resp. Phenolrot zugegeben, der sich im Verlauf der Reaktion immer intensiver blau färbt. Die Extinktion, ist dann ein Maß für die Ammoniak-Konzentration.

Helicobacter pylori ist ein Bakterium, das sogar den sehr sauren menschlichen Magen infizieren kann und dort Urease produziert. Urease spaltet Harnstoff in Ammoniak und Kohlenstoffdioxid³⁰. Der Test basiert auf der bakteriellen Urease-Aktivität mit ca. 75 Milligramm in 100 Milliliter Wasser von nichtradioaktiv ^{13}C -markiertem Harn-

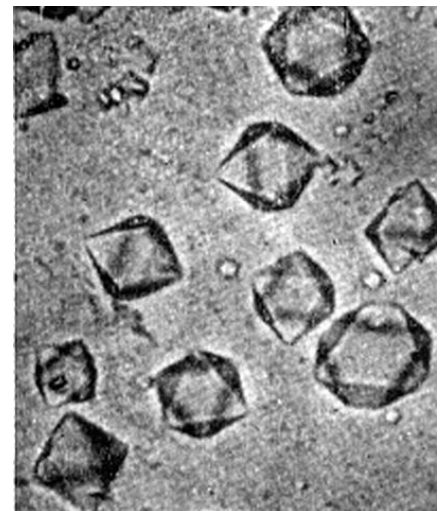


Abbildung 13: Erste Urease-Kristalle (1300-fach), d.h. Proteine lassen sich kristallisieren.

Fig. 13 : Premiers cristaux d'uréase (agrandis 1300 fois), c'est-à-dire que les protéines peuvent être cristallisées.

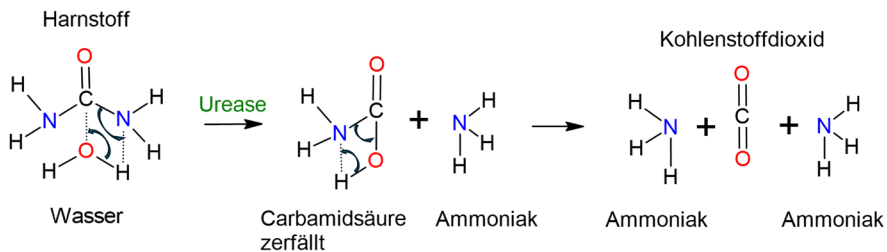


Abbildung 14: Die Zersetzung von Harnstoff ($H_2N-C(=O)-NH_2$) zu Ammoniak (NH_3) und Kohlendioxid (CO_2) wird durch das Enzym Urease um den Faktor 10^{14} beschleunigt! Das Enzym bringt Harnstoff und Wasser bei Nickelionen (Ni^{2+}) so nahe und korrekt zusammen (Orientierung), dass Elektronen mit minimaler Aktivierungsenergie übertragen werden können. Kupferionen können die Urease hemmen. Stickstoff (N) und Sauerstoff (O) haben freie Elektronenpaare, mit denen sie sich an das Ni^{2+} binden können.

Fig. 14 : La décomposition de l'urée ($H_2N-C(=O)-NH_2$) en ammoniac (NH_3) et en dioxyde de carbone (CO_2) est accélérée d'un facteur 10^{14} par l'enzyme uréase ! En présence d'ions Ni^{2+} , l'enzyme rapproche l'urée et l'eau de manière si précise (orientation) que les électrons peuvent être transférés avec une énergie d'activation minimale. Les ions Cu^{2+} peuvent inhiber l'uréase. L'azote (N) et l'oxygène (O) possèdent des paires d'électrons libres qui leur permettent de se lier au Ni^{2+} .

stoff ($H_2N-^{13}C(=O)-NH_2$). Nach dem Abbau des Harnstoffs durch *Helicobacter pylori* im Magen des Patienten wird $^{13}CO_2$ ausgeatmet. Das entstehende CO_2 in der Ausatemluft gemessen wird – etwa **innerhalb von 30 Minuten**. Im Magen ist der Harnstoff dann auf ca. 1 Liter verdünnt.

Die Beschleunigung gegenüber der Reaktion von Harnstoff in Wasser ohne Urease liegt typischerweise bei etwa dem 10'000- bis 1'000'000-fachen. Wenn Urease aber so schnell reagiert, weshalb ist dann der Test-Verlauf doch ziemlich langsam?

Für den Test ist die sehr hohe Effizienz der Urease entscheidend. Bereits eine Dosis von 75 Milligramm markierten Harnstoffs auf einen Mageninhalt von ca. einem Liter bei $37^\circ C$ genügt für den Nachweis. Dies zeigt sich darin, dass

die Moleküle leicht eingefangen werden (elektromagnetisches Feld), bei der Bindung an das Enzym die Aktivierungsenergie erheblich verringert wird (Schwächung der Bindungen) und sie sehr gut ausgerichtet werden (Bindung in der Reaktionsstasche).

Diese Kollisionstheorie lässt sich mit dem Häufigkeitsbaum ganz einfach so erweitern, dass sich der nichtlineare **Einfluss der Temperatur** (Arrhenius-Gleichung) durch einen doppelten Einfluss abschätzen lässt.

Mit der Methodik der Häufigkeitsbäume lernt man, Reaktionsgeschwindigkeiten zu beurteilen und generell einflussende Informationen mehrstufig in Form einer sequenziellen Hierarchie darzustellen und kritisch zu bewerten.

Mit diesem Stossmodell mit Häufigkeitsbaum können Resultate erzielt werden, die näher an der chemischen Realität sind. Dies ist jedoch nur möglich, wenn die Base-Rate, also die Anzahl der Teilchen, einen Bereich von mindestens einem Picomol, also von 600 Milliarden Teilchen, überschreitet.

Typischer Kurvenverlauf der CO_2 -Konzentration im Atemtest

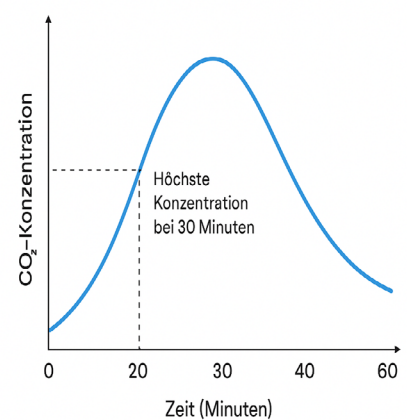


Abbildung 15: CO_2 -Test von *Helicobacter pylori* mit 75 mg Harnstoff in 100 ml Wasser.

Fig. 15 : Test CO_2 de *Helicobacter pylori* avec 75 mg d'urée dans 100 ml d'eau.

		Base-rate, Anzahl Teilchen	
		Anzahl= 1000000000	
Volumen [cm ³]=	1	Anzahl reaktive Teilchen 0,000075	Anzahl nicht reaktive Teilchen 0,999925
Temperatur [°C]=	37	Reaktive Teilchen 75000	Nicht reaktive Teilchen 999925000
		R=	1-R=
		Anteil Teilchen die sich treffen	Anteil Teilchen die sich nicht treffen
		Z= 0,5	1-Z= 0,5
		Teilchen treffen sich 37500	Teilchen treffen sich nicht 37500
		E= Anteil mit genügend Energie 0,99	1-E= Anteil mit ungenügend Energie 0,01
		Teilchen mit genügend Energie 37125	Teilchen mit ungenügend Energie 375
		O= Anteil mit korrekter Orientierung 0,99	1-O= Anteil mit nicht korrekter Orientierung 0,01
		Teilchen mit genügend Energie und korrekter Orientierung 117010	Teilchen mit ungenügend Energie und korrekter Orientierung 371
Reaktionsgeschwindigkeitskonstante =	0,00011701	Reaktions-Zeit ca. =	2 Stunden

		Base-rate, Anzahl Teilchen	
		Anzahl= 1000000000	
Volumen [cm ³]=	1	Anzahl reaktive Teilchen 1	Anzahl nicht reaktive Teilchen 0
Temperatur [°C]=	30	Reaktive Teilchen 1000000000	Nicht reaktive Teilchen 0
		R=	1-R=
		Anteil Teilchen die sich treffen	Anteil Teilchen die sich nicht treffen
		Z= 0,0001	1-Z= 0,9999
		Teilchen treffen sich 100000	Teilchen treffen sich nicht 999900000
		E= Anteil mit genügend Energie 0,01	1-E= Anteil mit ungenügend Energie 0,99
		Teilchen mit genügend Energie 1000	Teilchen mit ungenügend Energie 99000
		O= Anteil mit korrekter Orientierung 0,001	1-O= Anteil mit nicht korrekter Orientierung 0,999
		Teilchen mit genügend Energie und korrekter Orientierung 2	Teilchen mit ungenügend Energie und korrekter Orientierung 99
Reaktionsgeschwindigkeitskonstante =	2E-09	Reaktions-Zeit ca. =	11 Jahre

Abbildung 16: 75 mg auf 1 Liter Magenflüssigkeit, d. h. eine Milliarde Teilchen, Konzentration: 0,000075. Anteil Treffer: 0,5; Anteil genügender Energie: 0,99; korrekte Orientierung: 0,99; Eg-Ok: 117'010 auf eine Milliarde reaktive Teilchen – und das bei fast perfekten Einstellungen! (Einstellungen ohne Katalysator etwa: Anteil Treffer: 0,001; Anteil genügender Energie: 0,01; korrekte Orientierung: 0,001). In der Realität kann das Enzym bis zu einem Faktor von 1'000'000 beschleunigen. Dieses einfache Stossmodell kann das jedoch ohne Anpassungen nicht korrekt abschätzen (der kritische Parameter ist die mit 1 Milliarde sehr tiefe Base-rate!).

Fig. 16: 75 mg dans 1 litre de suc gastrique, soit un milliard de particules, concentration = 0,000075. Pourcentage de réussite = 0,5 ; pourcentage d'énergie suffisante = 0,99 ; orientation correcte = 0,99 ; Eg-Ok = 117'010 sur un milliard de particules réactives, et ce avec des réglages presque parfaits ! (Réglages sans catalyseur : pourcentage de réussite = 0,001 ; proportion d'énergie suffisante = 0,01 ; orientation correcte = 0,001). En réalité, l'enzyme peut accélérer jusqu'à un facteur 1 000 000. Cependant, ce modèle simple de collision ne peut pas l'estimer correctement sans ajustements (le paramètre critique est le taux de base très faible de 1 milliard !).

Abbildung 17: Die Temperatur ist überproportional (analog der Exponentialfunktion der Arrhenius-Gleichung), was auch in der Realität beobachtet wird. Der Temperatureinfluss wird nur bei «Teilchen mit genügend Energie und korrekter Orientierung» eingerechnet. Eine Erhöhung der Temperatur von 20 °C auf 30°C, also um 10 °C, führt beispielsweise zu einer Verdopplung der reaktiven Teilchen und somit zu einer Verdopplung der Reaktionsgeschwindigkeit, was der bekannten Faustregel entspricht im Vergleich mit Abbildung 7.

Fig. 17 : la température est disproportionnée (analogue à la fonction exponentielle de l'équation d'Arrhenius), ce qui est également observé dans la réalité. L'influence de la température n'est prise en compte que pour les « particules ayant suffisamment d'énergie et une orientation correcte ». Une augmentation de la température de 20 °C à 30 °C, soit de 10 °C, entraîne par exemple un doublement des particules réactives et donc un doublement de la vitesse de réaction, ce qui correspond à la règle empirique connue en comparaison avec la Fig. 7.

4 Häufigkeitsbaum für die Analytik

Wie gut lässt sich die durch Helicobacter pylori verursachte Krankheit mit diesem Urease-Test nachweisen?

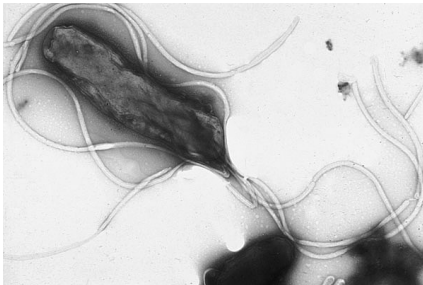


Abbildung 18: Helicobacter pylori (Bild: Wikipedia, Yutaka Tsutsumi)

Fig. 18 : Helicobacter pylori (image : Wikipédia, Yutaka Tsutsumi).

Der Grossteil der Magenkrebsfälle ist auf chronische Infektionen mit Helicobacter pylori zurückzuführen. Das Magenbakterium Helicobacter pylori ist nach neuen Erkenntnissen für rund 76 Prozent aller Magenkrebserkrankungen weltweit verantwortlich³¹. Dazu wird ein Häufigkeitsbaum verwendet, wie für die Abschätzung der Reaktionsgeschwindigkeit.

Die Prävalenz von H. pylori liegt in der Schweiz laut einigen Studien zwischen 12 % und 27 %, abhängig davon, ob es sich um Einheimische oder Einwanderer handelt, das heisst so häufig findet man diese Krankheit. Die Sensitivität des Urease-Atemtests, also wie gut Helicobacter pylori erkannt wird, kann je nach Test zwischen 80 % und 97 % liegen. Die Spezifität des Tests, also wie gut die Abwesenheit von Helicobacter pylori erkannt wird, ist oft hoch und liegt über 90 %. Um die Wirksamkeit

	Anzahl=		Base-rate, Anzahl Tests		
	Bakterium vorhanden		100	Bakterium nicht vorhanden	
	Prävalenz P= 0.27			1-P= 0.73	
	27			73	
	Test positiv Bakterium vorhanden	Test positiv Bakterium nicht vorhanden		Test negativ Bakterium nicht vorhanden	Test negativ Bakterium vorhanden
Sensitivität Se=	0.97	1-Se= 0.03		Spezifität Sp= 0.9	1-Sp= 0.1
	26	1		66	7
	True Positive TP	False Negative FN		True Negative TN	False Positive FP

Abbildung 19: Nachweis von Helicobacter pylori mit dem Urease-Test, dabei sind die Parameter alle auf die bestmöglichen Testbedingungen eingestellt. Die Sensitivität, 0,97, gibt an, wie gut das gesuchte Molekül gefunden wird. Die Spezifität, 0,9, gibt an, wie gut sich das gesuchte Molekül von ähnlichen Molekülen unterscheiden lässt.

Fig. 19 : Détection de Helicobacter pylori à l'aide du test à l'uréase, tous les paramètres étant réglés sur les meilleures conditions de test possibles. La sensibilité de 0,97 indique la capacité à détecter la molécule recherchée. La spécificité de 0,9 indique la capacité à distinguer la molécule recherchée des molécules similaires.

dieses medizinischen Tests zu beurteilen, eignet sich der Häufigkeitsbaum, kombiniert mit der Konfusionsmatrix hervorragend.

Alle vier Ergebnis-Kombinationen (TP, FN, TN und FP) haben eine besondere Bedeutung. Sie sagen aus, wie verlässlich dieser Test im Alltag ist, denn ein

positives Testergebnis bedeutet nicht zwangsläufig, dass man krank ist, und ein negatives Testergebnis bedeutet auch nicht zwangsläufig, dass man gesund ist.

Genauigkeit = (TP+TN)/(TP+TN+FP+FN): (Accuracy: 91.9 %) → Der Test misst in über 91% der Fälle richtig.

Tabelle 4: Konfusionsmatrix für den Helicobacter pylori-Test

Tableau 4 : Matrice de confusion pour le test Helicobacter pylori.

	Tatsächlich positiv H. pylori vorhanden	Tatsächlich negativ H. pylori nicht vorhanden	Kontrolle
Urease-Test positiv	True Positive = 262	False Positive = 73	335
Urease-Test negativ	False Negative = 8	True Negative = 657	665

- Die grünen Felder, TP und TN, zeigen die Anzahl Tests mit den gewünschten Resultaten. Les cases vertes, TP et TN, indiquent le nombre de tests ayant donné les résultats souhaités.
- Die roten Felder, FP und FN, zeigen die Anzahl Tests mit falschen Resultaten. Les cases marron, FP et FN, indiquent le nombre de tests ayant donné des résultats erronés.

Präzision = TP / (TP+FP): (78.2%) →

Wenn der Test „positiv“ ist, liegt er in ca. 78% der Fälle richtig.

Sensitivität = TP / (TP + FN): (Recall: 97.0%) → Der Test erkennt fast alle tatsächlich positiven Fälle.

Spezifität = TN / (TN + FP): (90.0%) →

Etwa 90% der negativen Fälle werden korrekt erkannt. Das bedeutet aber auch, dass 10% fälschlich als positiv eingestuft wurden – das ist die sogenannte **False-Alarm-Rate = FP / (FP+TN):** (10%) → Man erhält die Information, der Test auf die Krankheit sei positiv, obwohl man gesund ist.

Die folgende Literatur respektive Kunst scheint mir keine Alternative zu einem Verständnis von Chemie als Teil einer Bildung zu sein:

*«Lass die Moleküle rasen
was sie auch zusammenknobeln!
Lass das Tüfteln, lass das Hobeln,
heilig halte die Ekstasen!»³²*

Christian Morgenstern (1871-1914), deutscher Schriftsteller

Dank

Dem Lektor Dr. Stefan Muntwiler danke ich sehr für seine genaue und rasche Durchsicht des Manuskripts, ebenso für die guten Hinweise und das Aufzeigen von Fehlern.

Autor

Prof. em. Dr. Peter Bützer, Diplom in organischer Chemie und Promotion in Molekularbiologie an der ETH Zürich, Gruppenleiter «Spaltproduktchemie» am Hotlabor im EIR, Leiter des Bereichs «Operationeller Strahlenschutz und radioaktive Abfälle» an der HSK,

Hauptlehrer für Chemie und Physik an der Kantonsschule Heerbrugg, Dozent an der PHS und HSG (St.Gallen), CEO der Firma Isantin GmbH – und immer noch begeisterter, experimentierender Chemiker.

E-Mail: peter.buetzer@isantin.ch

Addendum

Alle erwähnten Excel-Files der Häufigkeitsbäume werden auf Anfrage zugestellt.

Literatur / Bibliographie

1. Krauss, S. (2003). Wie man das Verständnis von Wahrscheinlichkeiten verbessern kann: Das "Häufigkeitskonzept", *Stochastik in der Schule*, 23, 1, 2-9
2. Ballabio, D., Consonni, V. (2013). Classification tools in chemistry. Part 1: linear models. PLS-DA. *Analytical methods*, 5(16), 3790-3798. Doi: 10.5220/0006108504350442
3. Trautz, M. (1920). Die quantentheoretische Bedeutung der Geschwindigkeitskonstanten. *Zeitschrift für Physik*, 2(2), 117-126
4. Lewis, W. C. M. (1918). XLI.—Studies in catalysis. Part IX. The calculation in absolute measure of velocity constants and equilibrium constants in gaseous systems. *Journal of the Chemical Society, Transactions*, 113, 471-492
5. Laidler, K. J. (1996). A glossary of terms used in chemical kinetics, including reaction dynamics (IUPAC Recommendations 1996). *Pure and applied chemistry*, 68(1), 149-192. doi.org/10.1351/pac199668010149
6. Maurer, U. (2025). ETHZ, Er hat einen klaren Plan für die Sicherheit, <https://ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2025/07/er-hat-einen-klaren-plan-fuer-die-sicherheit.html> (Accessed, 2025.07.15)

7. Gigerenzer, G., Todd, P. M. (1999). Fast and frugal heuristics: The adaptive toolbox. In *Simple heuristics that make us smart* (pp. 3-34). Oxford University Press
8. Gigerenzer, G. (2004), Fast and frugal heuristics: The tools of bounded rationality, In: D. Koehler & N. Harvey (Eds.). *Blackwell handbook of judgment and decision making* (pp. 62–88). Oxford, UK: Blackwell
9. Koehler, J. (1996). The base-rate fallacy reconsidered, *Behavioral and Brain Sciences*, 19, 1
10. Matthews, R. Base-rate errors and rain forecasts, *Nature*, 382, 766, 1996, 766
11. Bodenstein, M. (1894). Zersetzung und Bildung von Jodwasserstoff, *Z. phys. Chem.*, 13, S. 56
12. Jung, C.G. (1944). Psychologie und Alchemie, § 360, Fußnote 36; In dieser Passage zitiert Jung einen alchemistischen Text und fügt in einer Fußnote seine eigene Interpretation hinzu, in der er die Begegnung zweier Individuen mit der chemischen Reaktion zweier Substanzen vergleicht.
13. Popper K. R., *Objektive Erkenntnis*, Hoffmann und Campe, Hamburg, 1993, S. 30
14. Ertl, G. (2008). Reaktionen an Oberflächen: Vom Atomaren zum Komplexen. *Angewandte Chemie*, Jahrgang 120, Nummer 19, S.3578–3590
15. Pauling, L. (1961). Time 2 January
16. Royal Society of Chemistry (RSC), Testing for catalase enzymes, <https://edu.rsc.org/experiments/testing-for-catalase-enzymes/425.article> (Accessed 17.8.2025)
17. Massachusetts Institute of Technology (MIT), (2017). A Study of the Kinetics of the Enzyme Catalase and its Reaction With H₂O₂. A Further Study on Protein Assay Quantitation of Catalase, https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/131028/5-310-fall-2017/contents/labs/MIT5_310F17_Catalase_Lab.pdf (Accessed 17.8.2025)
18. Warshel, A., Sharma, P. K., Kato, M., Xiang, Y., Liu, H., Olsson, M. H. (2006). Electrosta-

Résultats positifs dans les réactions chimiques

Texte et figures : Peter Bützer

- tic basis for enzyme catalysis. *Chemical reviews*, 106(8), 3210-3235. doi: 10.1021/cr0503106
19. Kim, T. D., Kim, K. K. (2019). Crystallographic Studies of Enzymes. 10(1), 6. doi: [10.3390/CRYST10010006](https://doi.org/10.3390/CRYST10010006)
 20. Agarwal, P. K. (2019). A Biophysical Perspective on Enzyme Catalysis. *Biochemistry*. 58(6):438-449. doi: [10.1021/acs.biochem.8b01004](https://doi.org/10.1021/acs.biochem.8b01004)
 21. Feynman R.P. (1999). Was soll das alles? Piper Verlag GmbH, München, S.22
 22. Bützer, P. (2006). Keine Zauberei und auch nicht Esoterik – sondern Chemie, c+b, 2. 19-20
 23. Leibniz Institute DSMZ, BRENDA Enzyme Database, <https://www.brenda-enzymes.org/> (Accessed, 13.8.2025)
 24. Fearon WR. (1923). Urease. Part I. The Chemical Changes Involved in the Zymolysis of Urea. *Biochem J.* 17(1), 84-93. doi: [10.1042/bj0170084](https://doi.org/10.1042/bj0170084)
 25. Müller, S., Kromke, M., Vogt, H., Moll, D. (2007). Michaelis Menten Kinetik von Urease. *Enzymkinetik in der Schule. Biologie in unserer Zeit*, 37(4), 260-265. doi: [10.1002/biuz.200610341](https://doi.org/10.1002/biuz.200610341)
 26. Wrobel, M. M., Bánsági, T. Jr, Scott, S. K., Taylor, A. F., Bounds, C. O., Carranza, A., Pojman, J. (2012). A pH wave-front propagation in the urea-urease reaction. *Biophys J.* 103(3), 610-615. doi: [10.1016/j.bpj.2012.06.020](https://doi.org/10.1016/j.bpj.2012.06.020). Erratum in: *Biophys J.* 2014 Apr 1;106(7):1548. Carranza, Arturo [corrected to Carranza, Arturo]. PMID: 22947878; PMCID: PMC3414887
 27. Liu, F., Cheng, Xi., Miu, Ji., Li, X., Yin, R., Wang, J., Qu, Y. (2021). Application of Different Methods to Determine Urease Activity in Enzyme Engineering Experiment and Production. *E3S Web of Conferences*. 251. 02057. doi: [10.1051/e3sconf/202125102057](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125102057).
 28. Bibby, J. M, Hukins, D. W. (1992). Measurement of pH to quantify urease activity. *J Biochem Biophys Methods.* 25(4), 231-6. doi: [10.1016/0165-022x\(92\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0165-022x(92)90017-5)
 29. da Fonseca, A. B., Santos, C., Nunes, A. P. P. et al. (2023). Urease inhibitors technologies as strategy to mitigate agricultural ammonia emissions and enhance the use efficiency of urea-based fertilizers. *Scientific Reports*, 13(1), 22739. doi: [10.1038/s41598-023-50061-z](https://doi.org/10.1038/s41598-023-50061-z)
 30. Minami, M., Hashikawa, S. N., Ando, T., Kobayashi, H., Goto, H., & Ohta, M. (2021). Involvement of CO₂ generated by urease in multiplication of *Helicobacter pylori*. *GSC Advanced Research and Reviews*, 7, 045-053, doi: [10.30574/gscarr.2021.7.3.0123](https://doi.org/10.30574/gscarr.2021.7.3.0123)
 31. Park, J. Y., Georges, D., Alberts, C. J. et al. (2025). Global lifetime estimates of expected and preventable gastric cancers across 185 countries. *Nat Med.* doi: [10.1038/s41591-025-03793-6](https://doi.org/10.1038/s41591-025-03793-6)
 32. Morgenstern C. (1952). *Galgenlieder*, Verlag der Arche, Zürich, S. 11

Les illustrations et les tableaux se trouvent dans la partie en allemand.

Résumé

Pour comprendre pourquoi les réactions chimiques se déroulent à une certaine vitesse, il faut introduire des concepts tels que l'énergie d'activation et la réactivité. Cela nécessite une compréhension approfondie des modèles de particules, de l'énergie et des probabilités, ce qui est souvent trop complexe, car la cinétique chimique est un domaine mathématiquement exigeant. La théorie des chocs (théorie des collisions), présentée sous forme de fréquences, permet d'opérer un changement de paradigme vers une compréhension plus facile de la dynamique chimique.

1. Introduction

La chimie est la science des transformations de la matière. Elle explique ce qui change, pourquoi cela se produit et à quelle vitesse ces processus se déroulent. Mais au lieu de décrire les vitesses de réaction à l'aide d'équations différentielles abstraites, une nouvelle approche s'ouvre : celle des fréquences observables¹ et des modèles basés sur des données sous forme de matrices de confusion². Celles-ci rendent la dynamique chimique plus tangible, en particulier à une époque où l'intelligence artificielle (IA) redéfinit l'accès à la connaissance.

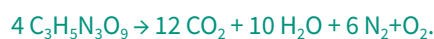
L'éducation évolue : elle s'éloigne de l'apprentissage par cœur pour se tourner vers la compréhension, l'application et l'interprétation. La chimie offre ici une opportunité particulière. En effet, l'IA ne peut pas réaliser d'expériences, elle ne peut pas voir les changements de couleur, sentir les gaz ni percevoir les variations de température. Cela rend l'approche humaine de la chimie irremplaçable.

L'enseignement de la chimie devient ainsi une interface entre l'analyse numérique, l'expérience sensorielle et l'interprétation fondée sur des preuves.

2. Une substance chimique est décomposée

La dynamique chimique ne peut être réduite à des lois physiques, car son essence réside dans la transformation des matières premières en produits dotés de nouvelles propriétés dans leurs environnements spécifiques – un comportement émergent.

Lors de la détonation de nitroglycérine comprimée, toute l'énergie est libérée à une vitesse environ 20 fois supérieure à celle du son, en quelques fractions de microseconde à quelques microsecondes (Fig. 1) :



Utilisée comme médicament contre les crises d'angine de poitrine aiguës (oppression thoracique), la même nitroglycérine, prise par voie sublinguale (sous la langue), commence à agir après 1 à 3 minutes. Elle atteint son effet maximal après 4 à 5 minutes et son effet dure environ 20 à 30 minutes. La molécule thérapeutiquement active

est le monoxyde d'azote (NO, N=O), très réactif :



Cet exemple montre clairement pourquoi il n'existe pas (encore) de théorie capable de calculer et d'expliquer de manière générale la vitesse des réactions chimiques dans différents solvants ou environnements (cellules, environnement). Cette lacune dynamique de la chimie reste un défi majeur. Ce n'est que lorsque nous comprendrons la dynamique comme une propriété fondamentale et non comme un appendice de structures statiques que nous pourrons mieux appréhender et développer des systèmes passionnants.

3. Arbre de fréquence d'une vitesse de réaction

3.1. Théorie des chocs/collisions en chimie

Pour qu'une réaction chimique puisse avoir lieu, **les particules appropriées doivent se rencontrer avec une énergie suffisante et dans une orientation appropriée**. Ce n'est qu'alors que leurs groupes réactifs peuvent se rapprocher suffisamment pour que les électrons soient transférés. La théorie des chocs (ou théorie des collisions) explique pourquoi toutes les collisions ne conduisent pas à une réaction, mais seulement celles dans lesquelles les particules qui se rencontrent dépassent l'énergie d'activation et où l'orientation spatiale est favorable. Il s'agit d'une théorie mécaniste qui décrit le déroulement des réactions chimiques. Elle a été développée en 1916 par le physico-chimiste allemand Max

Theodor Trautz (1880-1960)³ et en 1918 par le physico-chimiste britannique William Cudmore McCullagh Lewis (1885-1956)⁴. Selon cette méthode, la distribution d'énergie et l'orientation spatiale des particules sont réparties statistiquement. Sous la forme d'un arbre de fréquence des réactions chimiques, cette « boîte noire » illustre la dynamique à l'aide de probabilités conditionnelles.

Pour qu'une réaction chimique soit réussie, quatre conditions doivent être remplies :

- 1. Seules les particules réactives sont efficaces (R)** : les collisions entre particules réactives et non réactives (par exemple, solvants, gaz nobles dans l'air) sont sans effet.
- 2. Fréquence des collisions (nombre de collisions Z)** : la condition préalable est que les particules réactives entrent en contact. Plus le nombre de particules se déplaçant à grande vitesse dans un espace restreint est élevé, plus la probabilité de collision entre les particules réactives est grande (la proportion est de l'ordre de 0,0001 à 0,01 %).
- 3. Énergie suffisante (énergie d'activation E)** : seules les particules capables de surmonter l'énergie d'activation réagissent (cette proportion dépend de la réactivité des réactifs et de l'énergie, par exemple la température) (voir Fig. 2).
- 4. Orientation correcte (facteur d'orientation O)** : seules les particules ayant une orientation appropriée (position mutuelle) sont en mesure d'échanger des élect-

rons (la proportion est de l'ordre de 0,0001 à 0,1 %).

La forme quantitative de la théorie des collisions⁵ est $k = Z \cdot O \cdot e^{-E_a/RT}$, avec :

- k = constante de vitesse
- Z = fréquence de collision (calculable à partir des densités des particules, de la section efficace de collision, de la vitesse moyenne)
- O = facteur d'orientation (probabilité que les particules entrent en collision correctement alignées)
- E_a = énergie d'activation
- R = Constante universelle des gaz parfaits
- T = température

« Si je veux enseigner quelque chose, je dois d'abord le comprendre vraiment. »⁶

Ueli Maurer (*1960), cryptologue suisse

Ordre : les réactifs doivent se rencontrer. C'est la condition de base. L'énergie de réaction est une condition nécessaire pour surmonter l'énergie d'activation en tant que barrière (Fig. 2). L'orientation spatiale détermine finalement si la collision à haute énergie est efficace (facteur stérique de la théorie des collisions).

La théorie des collisions est l'une des approches les plus claires de la cinétique chimique (dynamique). Elle relie des concepts microscopiques (particules en mouvement, collisions) à des observations macroscopiques (vitesse de réaction, influence de la température, etc.). **La théorie des collisions est en quelque sorte la grammaire de base des vitesses de réaction chimique.** Ceux qui ne la comprennent

pas peuvent certes apprendre des formules par cœur ou appliquer des équations, mais ils ne comprennent pas le « pourquoi » de la réaction. En effet, une vitesse de réaction élevée, par exemple dans le sport, nécessite des vitesses de réaction élevées au niveau des nerfs et des muscles.

Pour illustrer clairement ces relations, la théorie des collisions est appropriée en combinaison avec un modèle de particules et des fréquences^{7,8} plutôt que des probabilités. Les conditions d'une réaction réussie sont alors estimées avec des **probabilités conditionnelles**. Celles-ci peuvent être visualisées graphiquement à l'aide d'**arbres de fréquence**^{9,10}. Pour cela, seules les quatre opérations de base sont nécessaires. Cela permet de mettre en évidence la rareté des collisions « réussies » et l'influence de la température, de la concentration ou des catalyseurs sur ces probabilités (Fig. 6).

Le « jeu » avec les modèles – c'est-à-dire la traduction de la **réalité** → **abstraction** → **explication** → **référence à l'observation** – n'est pas un exercice trivial, mais un processus éducatif central qui va bien au-delà de la chimie. Ces modèles sont des outils permettant de résoudre des problèmes dans le monde réel.

3.2. Exemple : la réaction de l'iode avec l'hydrogène

L'exemple de la réaction du diiode (I_2) avec le dihydrogène (H_2) pour former de l'iodure d'hydrogène (HI), décrite par Bodenstein en 1894,¹¹ illustre la méthodologie de la théorie des collisions (théorie des chocs) avec des fréquences.

Le dihydrogène (H-H) et le diiode (I-I) doivent se rencontrer directement, et non pas H-H avec H-H ou I-I avec I-I. Une réaction n'a lieu que si la collision entre H-H et I-I a suffisamment d'énergie pour surmonter la répulsion des couches électroniques négatives et si l'orientation mutuelle est correcte (Fig. 3, Fig. 4).

« La rencontre de deux personnes est comme le contact de deux substances chimiques : si une réaction se produit, les deux se transforment. »¹²

Carl Gustav Jung (1875-1961), psychologue suisse

« Nous vérifions la vérité en éliminant le faux. »¹³

Karl Raimund Popper (1902-1994), philosophe britannique

Condition préalable à une réaction entre le diiode (I_2) et le dihydrogène (H_2) : les particules doivent se rencontrer dans l'espace de réaction (Fig. 5).

3.3. Une réaction chimique avec un arbre de fréquence

Le déroulement des réactions des Fig. 3, 4 et 5 est représenté à l'aide d'un arbre de fréquence (Fig. 6).

L'inconvénient de la représentation habituelle des arbres de fréquence (Fig. 6) est que les modifications demandent beaucoup de travail. C'est pourquoi nous utilisons Excel dans ce qui suit. Le tableau Excel ainsi utilisé permet une représentation facilement modifiable des processus chimiques. Les apprenants peuvent ainsi observer directement les effets des paramètres modifiables. Si l'on modifie par exemple la concentration initiale, l'énergie fournie ou l'orientation, le modèle montre immédiatement les effets sur le nombre de particules réactives. Cela

permet de mettre en évidence les relations causales, de vérifier les hypothèses et de comprendre le comportement du système. Il s'agit là d'un avantage inestimable pour la compréhension de la dynamique et de la cinétique chimiques.

« La beauté de la chimie ne réside pas dans la prédiction, mais dans la découverte de la complexité dynamique. »¹⁴

Gerhard Ludwig Ertl (*1936), physicien et chimiste allemand

3.4. Arbre de fréquence représenté de manière dynamique

À l'aide d'Excel, toutes les fréquences sont calculées simultanément et les influences sur la dynamique moléculaire peuvent être expérimentées de manière interactive (Fig. 7). Cela permet d'identifier les principes fondamentaux des réactions chimiques, de représenter les dépendances conditionnelles (probabilités) et d'interpréter les modèles.

- 1. Nombre de particules (taux de base) :** réglage standard = $1'000'000'000 = 1$ milliard.
- 2. Proportion de particules actives** seules les particules réactives H_2 et I_2 peuvent réagir. Dans l'air ambiant, la proportion volumique d'ozone (O_3) est généralement inférieure à 0,00001 %. Bien que faible, l'ozone a néanmoins un impact sur la santé et l'environnement en raison de sa forte réactivité. Dans les solvants également, les substances réactives ne sont généralement présentes qu'en faible quantité. Dans les solides, en revanche, le degré de répartition est déterminant, car seule la surface réagit. Réglage

par défaut = 1.

- 3. Proportion de collisions (Z) :** les particules se déplacent et doivent entrer en collision. Si deux particules de diiode ou deux particules de dihydrogène entrent en collision ou heurtent une paroi, ces collisions sont sans effet. Réglage par défaut = 0,0001.
- 4. Proportion d'énergie (E) :** la part d'énergie des particules doit être suffisamment importante pour surmonter l'énergie d'activation. Un exemple en est enflamer une allumette : il faut la frotter, c'est-à-dire lui fournir de l'énergie. Un autre exemple est le pop-corn : ce n'est que lorsqu'il reçoit suffisamment de chaleur que le grain de maïs éclate. Moins il faut fournir d'énergie, plus la particule est réactive. Réglage par défaut = 0,01.
- 5. Orientation correcte (O) :** la position au point d'impact doit être telle que les particules puissent échanger les électrons nécessaires à la réaction. Toute orientation correcte entraîne un impact avec réaction. Réglage par défaut = 0,001.

Calcul des fréquences :

Hypothèses (réaction à température normale, intervalle de temps: sec^{-1}) :

Nombre de particules participantes = $1'000'000'000$ (1 milliard).

- 1. Proportion de particules réactives :** sur $1'000'000'000$ de particules, $1'000'000'000 \times 1,0 = 1'000'000'000$ sont des particules réactives (par exemple, dans les solides, seule la surface réagit (de-

gré de distribution). Les particules non réactives sont des substances inertes, par exemple les gaz nobles dans l'air ou les solvants.

- 2. Collision avec impact :** sur des particules réactives, seules $0,0001 \times 1'000'000'000 = 100'000$ particules se rencontrent par unité de temps.
- 3. Part d'énergie (> énergie d'activation) :** sur les 100 000 particules, seules $0,01 \times 100'000 = 1'000$ particules par unité de temps ont une énergie suffisante pour réagir.
- 4. Orientation correcte :** seules $0,001 \times 1'000 = 1$ particule par unité de temps à une orientation correcte, ce qui signifie que seule 1 particule Eg-Ok = 1 réagit par unité de temps.

Interprétation du tableau 1 :

La faible proportion de particules ayant une orientation correcte et une énergie suffisante (Eg-Ok, TP) par rapport à la très grande proportion de particules ayant une énergie insuffisante et une orientation incorrecte (Eu-Of, TN) montre que les conditions de réaction actuelles sont loin d'être optimales.

(Eg : Energie suffisante (« genügend »), Eu : Energie insuffisante (« ungenügend »), Ok : Orientation correcte (« korrekt »), Of : Orientation incorrect (« falsch »), TP : True Positive, TN : True Negative)

Conclusion :

Sur un milliard de particules, une seule particule est réactive lors de la réaction chimique dans un intervalle de

temps d'une seconde, et ce malgré le fait qu'il s'agisse d'une substance chimiquement réactive. Cette erreur d'appréciation intuitive pourrait s'expliquer par le sophisme bayésien (également appelé sophisme du taux de base). La probabilité de base de l'événement (un milliard de particules) est ignorée et l'accent est mis uniquement sur les nouvelles informations.

La méthodologie des arbres de fréquence est particulièrement utile pour évaluer les probabilités conditionnelles de manière facilement compréhensible. Elle permet une gestion des incertitudes fondée sur des preuves et favorise ainsi la compétence en matière de risques, qui revêt aujourd'hui une grande importance. Cette méthode peut constituer une compétence clé dans divers domaines spécialisés.

3.5 Vitesse de réaction selon la théorie des collisions

Seule une fraction de toutes les collisions remplit les quatre conditions. On les appelle collisions efficaces « Eg-Ok énergie suffisante et orientation correcte ». La constante de vitesse de réaction k (unité = s^{-1}) décrit la proportion de collisions efficaces par rapport au nombre de particules (taux de base) par unité de temps. La demi-vie approximative (HWZ) $t_{1/2} = \ln(2)/k$ (unité = s), en tant que temps de réaction, est alors dans les cas simples une indication approximative mais facilement compréhensible de la constante de vitesse de réaction k .

Lorsque l'énergie d'activation diminue, la probabilité d'une réaction

$$\text{Vitesse de réaction} = \frac{\text{particules (énergie suffisante et orientation correcte)}}{\text{nombre de particules (taux de base) \times temps}}$$

réussie augmente, et donc le nombre de particules réactives (Eg-Ok). L'orientation peut être modifiée en tant que facteur. Elle est toutefois déterminée par le type et la structure des particules (molécules, ions, surfaces, encombrement stérique) ainsi que par le type et la structure des catalyseurs (par exemple, les enzymes).

Vidéo : <https://phet.colorado.edu/de/simulations/reactions-and-rates>.

Conclusion :

Une diminution de l'énergie d'activation et une réduction du volume (c'est-à-dire une augmentation de la concentration, une augmentation du degré de distribution dans les solides) augmentent la fréquence à laquelle les molécules se rencontrent. L'orientation des particules lors de la rencontre peut être influencée par les solvants, les liaisons aux surfaces et les catalyseurs.

« La satisfaction de sa curiosité est l'une des plus grandes sources de bonheur dans la vie. »¹⁵

Linus Carl Pauling (1901-1994), chimiste américain

Les principes des réactions peuvent être représentés à l'aide de l'arbre de fréquence de la théorie des collisions. Cependant, il est souvent difficile d'interpréter les constantes de vitesse de réaction. C'est pourquoi le modèle Excel a été élargi en convertissant la constante de vitesse de réaction (k) en une demi-vie approximative (HWZ)

avec $HWZ = \ln(2)/k$ – ce qui dure longtemps est lent, ce qui dure peu de temps est rapide. Cela s'applique toujours lorsque la concentration initiale est prise en compte, ici en tant que proportion de particules réactives.

3.6. Décomposition du peroxyde d'hydrogène : $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$

Expérience et théorie

Simulation avec la théorie des collisions et représentation sous forme d'arbre de fréquences

Solution de peroxyde d'hydrogène à 30 % dans H_2O (contient un stabilisateur) -> Valeur expérimentale (durée de conservation du H_2O_2 , 25°C, pH = 7) : constante de vitesse de réaction $k \approx 3,19 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$.

Proportion de particules réactives = 0,3 (concentration de 30 %).

Partie de collisions par unité de temps = 0,0001 (estimation) ; partie de particules réactives = 0,3 (solution à 30 %), partie d'énergie suffisante = 0,1 (fonctionne à température ambiante, donc en quantité suffisante), orientation correcte = 0,001 (estimation).

Observation : le peroxyde d'hydrogène dans une solution à 30 % est stable et se conserve plusieurs années, c'est pourquoi aucune dégradation ne peut être observée en quelques jours.

Interprétation :

Avec une constante de vitesse de réaction de $3 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1}$, le modèle de collision reflète assez bien le résultat expérimental de $k \approx 3,19 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$. Cela signifie qu'à température ambiante, le peroxyde d'hydrogène se décompose si lentement, avec une demi-vie d'environ 7 ans, que la décomposition n'est pas directement observable.

58

Le modèle Excel permet de varier de manière ludique les paramètres les plus importants qui déterminent la vitesse d'une réaction chimique et donne ainsi une idée de la manière dont la vitesse peut être influencée.

3.7. Décomposition du peroxyde d'hydrogène avec catalyseur

La décomposition catalysée du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) avec de l'iodure (KI) ; dépend fortement de la concentration en iodure comme catalyseur et du pH. Valeur expérimentale : $k = 0,001\text{-}0,01 \text{ s}^{-1}$.

Exemple de paramètres : proportion de particules réactives = 0,3 ; proportion de collisions = 0,001 (dipôles) ; proportion d'énergie suffisante = 0,3 ; orientation correcte = 0,001. Ce qui donne : $E_g - O_k = 1'188'000$; $k = 10^9 / 1188000 = 0,0012 \text{ s}^{-1}$.

Les réactions catalysées^{16,17} par des enzymes biochimiques (par exemple par l'enzyme catalase) sont beaucoup plus rapides : $k = 10^6 - 10^7 \text{ s}^{-1}$, soit un facteur 1000 à 100'000 fois plus rapide que la réaction catalysée par l'iodure. L'une des enzymes les plus rapides connues est la catalase. Elle catalyse la décomposition du peroxyde d'hydrogène

(H_2O_2) en eau (H_2O) et en oxygène (O_2). Une enzyme peut transformer jusqu'à 10'000'000 (dix millions) de molécules de substrat réactives par seconde, c'est le « TurnOver Frequency » (fréquence de renouvellement) TOF.

Le mécanisme de la catalase comprend plusieurs étapes au cours desquelles des molécules de porphyrine de fer dans le centre actif de l'enzyme facilitent le transfert d'électrons :

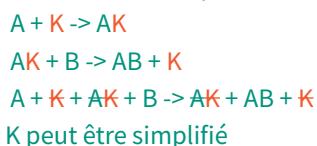
- Enzyme-Fe(III) + $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow$ Enzyme-Fe(IV)=O + H_2O
- Enzyme-Fe(IV)=O + $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow$ Enzyme-Fe(III) + O_2 + H_2O

Ainsi, deux molécules de H_2O_2 sont transformées en deux molécules H_2O et une molécule O_2 au cours d'un cycle impliquant l'ion fer, sans que l'enzyme elle-même ne soit consommée en tant que catalyseur.

Les catalases sont présentes dans presque tous les organismes aérobies, chez l'humain principalement dans les peroxysomes du foie et des reins ainsi que dans les érythrocytes, et empêchent les oxydations pouvant entraîner des dommages.

3.8 Comment fonctionne le catalyseur

Un catalyseur (K) est une substance qui participe à la réaction $A + B \rightarrow AB$, l'accélère, mais n'est pas consommée.



Un catalyseur K ne doit pas lier trop fortement les réactifs A et B, sinon il ne

peut plus se séparer, ni trop faiblement, sinon il n'agit pas. Cela correspond au principe de Sabatier.

Les enzymes, une merveille d'efficacité

Les enzymes sont d'énormes protéines dotées de minuscules centres actifs (< 5 % de la surface) qui **accélèrent les réactions de 10^6 à 10^{17} fois**. Elles y parviennent grâce à :

1. **Proportion de résultats¹⁸** : les substrats proches de la surface diffusent ~100 à 1000 fois plus rapidement vers le centre actif des enzymes qu'en solution, ils utilisent les champs électrostatiques comme des « entonnoirs moléculaires ». Les centres actifs chargés attirent les substrats via les forces de Coulomb) et augmentent la probabilité de liaison de 10 à 1000 fois.
2. **Réduction de l'énergie d'activation¹⁹** : la stabilisation de l'état de transition réduit ΔG^\ddagger de 30 à 100 kJ/mol, ce qui entraîne à elle seule une accélération d'environ 10^5 à 10^{16} fois.
3. **Contrainte d'orientation²⁰** : la géométrie correcte est imposée dans le centre actif de l'enzyme (amélioration d'environ 10^3 à 10^4 fois de la probabilité d'orientation).

Les enzymes sont un exemple de l'efficacité extraordinaire que peut atteindre la nature.

Expérience : une pomme de terre est coupée et la surface fraîchement coupée est humidifiée avec une pipette contenant du peroxyde d'hydrogène (5-30 %).

Résultat : une mousse se forme immédiatement, due au dioxygène libéré. L'enzyme catalase présente dans la pomme de terre en est responsable.

« L'universalité de la chimie qui soutend toute vie est en effet quelque chose de fantastique, de merveilleux. »²¹

Richard P. Feynman (1918-1988), physicien américain

La concentration est la proportion de particules réactives par volume.

$$\text{Concentration} = \frac{\text{proportion de particules réactives}}{\text{volume}}$$

Plus la concentration est élevée, plus le nombre de collisions possibles est important. Mais toutes les collisions ne conduisent pas à une réaction : seules les particules ayant une **énergie suffisante** et une **orientation correcte** peuvent réagir. La **vitesse de réaction** dépend donc de deux facteurs : la **concentration** des particules réactives et la **probabilité de collisions réussies**, qui dépend de l'énergie et de l'orientation.

Ces relations dynamiques peuvent être visualisées à l'aide du modèle particulaire et des arbres de fréquence.

Conclusions :

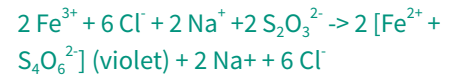
- La réactivité chimique des particules détermine directement la vitesse de réaction. Elle décrit la capacité à entrer plus ou moins facilement en réaction et est déterminée par l'énergie d'activation. Il s'agit de l'énergie minimale nécessaire pour qu'une collision soit réussie.

- Si la proportion de particules réactives augmente par rapport au nombre total de particules, la concentration augmente. Et la concentration est approximativement proportionnelle à la vitesse de réaction.
- Plus l'énergie suffisante est élevée (en fonction de l'énergie d'activation), plus la vitesse de réaction est grande. Une augmentation de température de 10 °C augmente la vitesse de réaction d'un facteur 2-3 (approximativement exponentiel).
- Plus la partie réactive des particules réactives est difficile d'accès, plus il est difficile de trouver l'orientation correcte pour une collision.

La **valeur initiale = le taux de base** = le nombre de particules de **1 milliard** (1'000'000'000) est une **valeur très, très faible** par rapport aux réactions chimiques réelles. Ce taux de base limite alors la plage possible pour les vitesses de réaction ou les temps de réaction. Comme le montre le tableau 2, celle-ci s'étend sur 30 puissances ! Des extensions du modèle sont donc possibles, mais les valeurs des fréquences ne peuvent alors plus être comparées et interprétées aussi facilement.

3.9. Détermination de la vitesse de réaction sans et avec catalyseur

Expérience 1²² : On verse dans un petit bécher 20 ml de chlorure de fer (III) (FeCl₃) 0,1 mol/l et 20 ml de solution de thiosulfate de sodium (Na₂S₂O₃) 0,1 mol/l.



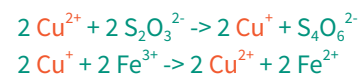
On détermine le temps nécessaire à la disparition de la couleur rouge-violet (une coloration jaune persiste à la fin de la réaction, causée par [Fe(H₂O)₆]²⁺).

Expérience 2 : on répète l'expérience ci-dessus, mais on agite la solution de FeCl₃ pendant 5 à 10 secondes avec un fil de cuivre propre avant de la verser dans la solution de thiosulfate.

Catalyseur : ions cuivre du fil de cuivre.

Observation : la réaction est beaucoup plus rapide dans l'expérience 2 avec le fil de cuivre !

Explication : Les ions cuivre (II) (Cu²⁺) assurent le transfert d'électrons par des étapes intermédiaire :



Les ions cuivre ne sont pas consommés, mais passent par un cycle redox. Ils doivent pouvoir se lier, mais aussi se dissoudre à nouveau (principe de Sabatier) :



Confirmation de la théorie :

Expérience 3 : Afin de prouver que les ions cuivre peuvent avoir un effet catalytique, on répète l'expérience 1, mais on ajoute 1 goutte de solution de CuSO₄ 0,1 mol/l à la solution de thiosulfate avant de la verser dans la solution de chlorure de fer (III).

Conclusion :

Il est très important de travailler de manière très propre en chimie. Même les plus petites quantités peuvent avoir un effet catalytique et influencer massivement une réaction. De plus, il ne faut pas utiliser de spatules métalliques pour remuer !

60 Les catalyseurs augmentent non seulement le nombre de collisions, mais positionnent également les réactifs avec précision et réduisent l'énergie d'activation.

Il est intéressant de noter que les réglages possibles pour des vitesses de réaction facilement observables sont très limités, de l'ordre de quelques secondes à quelques minutes.

3.10. L'enzyme uréase

Les enzymes sont des protéines biologiquement très actives qui agissent comme catalyseurs dans les organismes vivants. Elles accélèrent les réactions chimiques en réduisant l'énergie d'activation sans être elles-mêmes consommées. Les enzymes sont très spécifiques à leurs substrats. Normalement, chaque enzyme ne catalyse qu'une réaction particulière ou un groupe de réactions très similaires. Comme les enzymes ne sont pas consommées lors de la réaction, elles peuvent catalyser de nombreuses réactions avant d'être dénaturées ou dégradées (exemple de données²³).

L'uréase, une protéine composée de 2319 acides aminés, est la première enzyme qui a été obtenue en 1926 sous forme cristallisée à partir d'octaèdres de haricots jack (Canava-

lia ensiformis) (Fig. 13). L'Américain James Batcheller Sumner (1887-1955) a reçu le prix Nobel en 1946 pour cette découverte.

Grâce à l'activité catalytique de l'enzyme, la vitesse de réaction de l'hydrolyse de l'urée est considérablement augmentée, d'un facteur 10^{14} environ :



La liaison de l'urée [$\text{H}_2\text{N}-(\text{C}=\text{O})-\text{NH}_2$] au centre se fait avec 2 atomes de nickel (Ni^{2+}), ce qui affaiblit les liaisons et réduit l'énergie d'activation.

Expérience²⁵⁻²⁹ : l'urée sous forme pure se décompose à partir de la température de fusion (environ 133 °C), ce qui se traduit par une odeur d'ammoniac lorsque l'on chauffe l'urée dans un tube à essai.

Comme la décomposition de l'urée en solution aqueuse produit des ions ($\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$), l'augmentation des ions au fil du temps peut être suivie par mesure de la conductivité.

La réaction peut également être suivie par photométrie. Dans ce cas, on ajoute comme indicateur du bleu de bromothymol ou du rouge de phénol, qui prend une couleur bleue de plus en plus intense au cours de la réaction. L'absorbance est alors une mesure de la concentration en ammoniac.

Helicobacter pylori est une bactérie qui peut infecter même l'estomac humain très acide et y produire de l'uréase. L'uréase décompose l'urée en ammoniac et en dioxyde de carbone³⁰.

Le test est basé sur l'activité bactérienne de l'uréase avec environ 75 milligrammes dans 100 millilitres d'eau d'urée non radioactive marquée au ^{13}C ($\text{H}_2\text{N}-(^{13}\text{C}=\text{O})-\text{NH}_2$). Après la dégradation de l'urée par Helicobacter pylori dans l'estomac du patient, du $^{13}\text{CO}_2$ est expiré. Le CO_2 produit est mesuré dans l'air expiré, dans un délai de **30 minutes** environ. Dans l'estomac, l'urée est alors diluée à environ 1 litre.

L'accélération par rapport à la réaction de l'urée dans l'eau sans uréase est généralement d'environ 10'000 à 1'000'000 fois supérieure. Mais si l'uréase réagit si rapidement, pourquoi le test est-il si lent ?

La très grande efficacité de l'uréase est déterminante pour le test. Une dose de 75 milligrammes d'urée marquée dans un contenu gastrique d'environ un litre à 37 °C suffit pour la détection. Cela se traduit par le fait que les molécules sont facilement capturées (champ électromagnétique), que l'énergie d'activation est considérablement réduite lors de la liaison à l'enzyme (affaiblissement des liaisons) et qu'elles sont très bien alignées (liaison dans la poche de réaction).

Cette théorie des collisions peut être facilement étendue à l'arbre de fréquence de telle sorte que **l'influence non linéaire de la température** (équation d'Arrhenius) puisse être estimée par une double influence.

La méthodologie des arbres de fréquence permet d'apprendre à évaluer les vitesses de réaction et, de manière générale, à représenter les informations entrantes sous la forme d'une hiérarchie séquentielle à plusieurs ni-

veaux et à les évaluer de manière critique.

Ce modèle d'impact avec arbre de fréquence permet d'obtenir des résultats plus proches de la réalité chimique. Cela n'est toutefois possible que si le taux de base, c'est-à-dire le nombre de particules, dépasse au moins une picomole, soit 600 milliards de particules.

4. Arbre de fréquence pour l'analyse

Dans quelle mesure ce test d'uréase permet-il de détecter la maladie causée par *Helicobacter pylori* ?

La plupart des cas de cancer de l'estomac sont dus à des infections chroniques par *Helicobacter pylori*. Selon de récentes découvertes, la bactérie gastrique *Helicobacter pylori* est responsable d'environ 76 % de tous les cancers de l'estomac dans le monde³¹. Pour estimer cela, on utilise un arbre de fréquence, comme pour l'estimation de la vitesse de réaction.

Selon certaines études, la prévalence de *H. pylori* en Suisse, c'est-à-dire la fréquence à laquelle cette maladie est rencontrée, se situe entre 12 % et 27 % selon qu'il s'agisse de la population autochtone ou immigrée. La sensibilité du test respiratoire à l'uréase, c'est-à-dire la capacité à détecter *Helicobacter pylori*, peut varier entre 80 % et 97 % selon le test. La spécificité du test, c'est-à-dire sa capacité à détecter l'absence d'*Helicobacter pylori*, est souvent élevée et supérieure à 90 %. L'arbre de fréquence, combiné à la matrice de confusion, est un excellent outil pour évaluer l'efficacité de ce test médical.

Les quatre combinaisons de résultats (TP, FN, TN et FP) ont une signification particulière. Elles indiquent le degré de fiabilité de ce test dans la pratique quotidienne, car un résultat positif ne signifie pas nécessairement que la personne est malade, et un résultat négatif ne signifie pas nécessairement qu'elle est en bonne santé.

Précision = $(TP+TN)/(TP+TN+FP+FN)$ = 91,9 %. Le test mesure correctement dans plus de 91 % des cas.

Précision = $TP / (TP+FP)$ = 78,2 %. Si le test est « positif », il est correct dans environ 78 % des cas.

Sensibilité = $TP / (TP + FN)$ = 97,0 %. Le test détecte presque tous les cas réellement positifs.

Spécificité = $TN / (TN + FP)$ = 90,0 %. Environ 90 % des cas négatifs sont correctement détectés. Mais cela signifie également que 10 % ont été classés à tort comme positifs – c'est ce qu'on appelle le **taux de fausses alertes = $FP / (FP+TN)$** = 10%. On reçoit l'information que le test de dépistage de la maladie est positif, alors qu'on est en bonne santé.

La littérature et les références artistiques ci-dessous ne me semblent pas constituer une alternative à la compréhension de la chimie comme partie intégrante de l'éducation :

« Laisse les molécules s'agiter
Peu importe ce qu'elles concoctent !
Laisse le bricolage, laisse le rabotage,
Sanctifie l'extase ! »³²

Christian Morgenstern (1871-1914), écrivain allemand

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement le lecteur Dr Stefan Muntwiler pour sa relecture minutieuse et rapide du manuscrit, ainsi que pour ses précieuses remarques et la correction des erreurs.

Auteur

Prof. émérite Dr Peter Bützer, diplômé en chimie organique et titulaire d'un doctorat en biologie moléculaire de l'ETH Zurich, chef du groupe « Chimie des produits de fission » au laboratoire chaud de l'EIR, responsable du domaine « Radioprotection opérationnelle et déchets radioactifs » à la HSK, professeur principal de chimie et de physique à l'école cantonale de Heerbrugg, chargé de cours à la PHS et à la HSG (Saint-Gall), PDG de la société Isantin GmbH – et toujours chimiste passionné et expérimentateur.
E-mail : peter.buetzer@isantin.ch

Addendum

Tous les fichiers Excel mentionnés concernant les arbres de fréquence sont disponibles sur demande.

VSN/SSPSN/ASISN**Ständige Kommissionen / Commissions permanentes****Commission romande de la biologie CRB**

- Anne-Laure Rauber (BE), Présidente
anne-laure.rauber@gfbienne.ch
- Anne Arnoux (GE) Vice-présidente
anne.arnoux@gmail.com
- Matthias Müller (VD) Trésorier
- Byron Papadopoulos (NE) Secrétaire
byron.papadopoulos@rpn.ch
- Marie-Pierre Chevron (GYB)
- Diego Fernandez (BE)
- Alba Hendier (TI)
- Lola Hostettler (FR)
- Noémie Lamon (VS)
- Anja Stauffer (GYB)

Deutschschweizer Biologiekommision

- Silvia Reist (LU) Präsidentin
silvia.reist@sluz.ch
- David Stadler (LU) Vizepräsident
david.stadler@sluz.ch
- Dieter Burkhard (SG)
- Klemens Koch (BE) Präsident VSN
- Christian Kofmel (BL)
- Renato Nanni (BE)
- Manuela Varini (TI)

Commission romande de la chimie CRC**Composition du bureau**

- Emmanuel Marion-Veyron Président
emmanuel.marion-veyron@edufr.ch
- Nancy Geiser Vice-présidente
nancy.geiser@eduvaud.ch
- Manuel Fragnière Caissier
manuel.fragniere@bluewin.ch
- Simon Verdan Secrétaire
simon.verdan@edu.ge.ch

Deutschschweizer Chemiekommision

- Andreas Bartlome (LU) Präsident
andreas.bartlome@gmx.ch
- Dana Antoniadis (ZH)
- Patrick Aschwanden (ZH)
- Amadeus Bärtsch (ZH)
- Urs Bienz (BS)
- Stefan Bosshart (TG)
- Basil Denzler (ZH)
- Stefan Dolder (BE) Facilitateur ZEM/CES
- Hansrudolf Dütsch (ZH) VSN-Shop
- Benita Heiz (AG)
- Vesna Klingel (TG)
- Klemens Koch (BE) Präsident VSN
- Patrick Locher (SO)
- Markus Müller (TG) Delegierter SCG
- Stefan Mundwiler (LU)
- Jonas Schönle (AI)
- Martina Zürcher (ZG)

VSN/SSPSN/ASISN

VSN	Verein Schweizerischer Naturwissenschaftslehrerinnen und -lehrer	www.vsn.ch
SSPSN	Société Suisse des Professeurs de Sciences Naturelles	www.sspsn.ch
ASISN	Associazione Svizzera degli Insegnanti di Scienze Naturali	www.asisn.ch

Kommissionen | Commissions

CRB	Commission Romande de Biologie	www.crbiol.ch
CRC	Commission Romande de Chimie	www.crc-chimie.ch
DBK	Deutschscheizer Biologiekommision	
DCK	Deutschscheizer Chemiekommision	

63

Vorstand | Comité

Klemens Koch	klemens.koch@gbsl.ch
Präsident, Mutationen	Gymnasium Biel-Seeland, BE
Silvia Reist	silvia.reist@sluz.ch
Präsidentin DBK	Kantonsschule Beromünster, LU
Andreas Bartlome	andreas.bartlome@gmx.ch
Präsident DCK	Kantonsschule Beromünster, LU
Anne-Laure Rauber	anne-laure.rauber@gfbienne.ch
Présidente CRB	Gymnase français de Bienne, BE
Manuel Fragnière	manuel.fragniere@bluewin.ch
caissier CRC	
Emmanuel Marion-Veyron	marion-veye@edufr.ch
Président CRC	Collège du Sud, Bulle, FR
Christine Guesdon Lüthi	christine.guesdon@bluewin.ch
	Schule Ittigen, BE
Benita Heiz	benita.heiz@kanti-baden.ch
Kassierin	Kantonsschule Baden, AG
Stefan Mundwiler	stefan.mundwiler@sluz.ch
Redaktion c+b	Kantonsschule Sursee, LU

Impressum c+b

Redaktor: Stefan Mundwiler

Redaktionschluss für die nächste Ausgabe:

Délai de rédaction pour le prochain numéro:

- 31.08.2026

Texte werden in jedem Format gerne entgegengenommen, Bilder bitte separat einsenden.

Les textes sont acceptés dans tous les formats, veuillez envoyer les images séparément.

stefan.mundwiler@sluz.ch

Auflage 700 Exemplare. Druck: onlineprinters.ch

Autoren in dieser Ausgabe:

- Klemens Koch
- Andreas Bartlome
- Alba Hendie
- Arno Gropengiesser
- Marcel Sigrist
- Peter Bützer
- Silvia Reist
- David Stadler
- Lola Hostettler
- Timo Radjenovic
- Stefan Mundwiler

Übersetzungen:

- Alba Hendier, David Wintgens

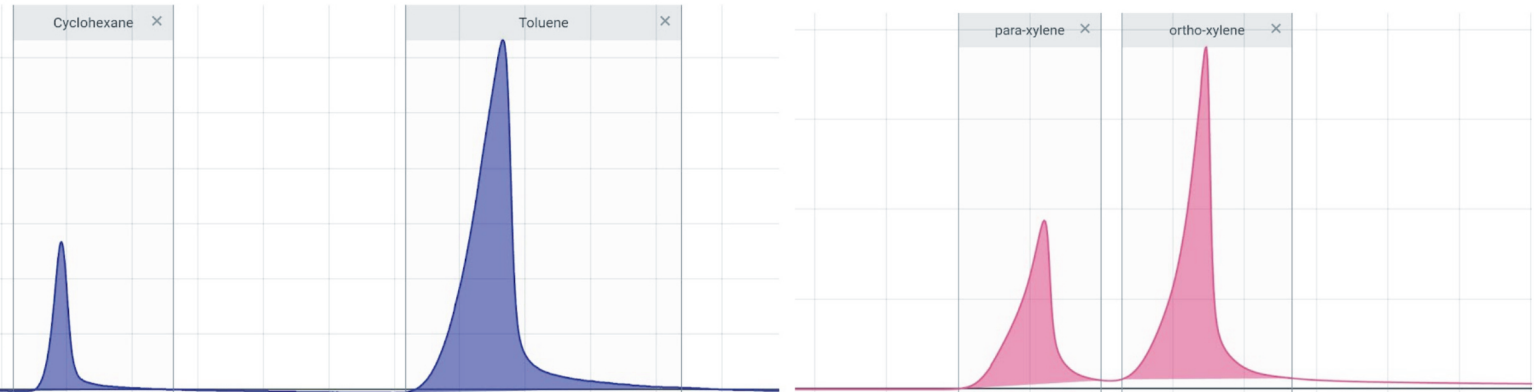
Abbildungen:

- wo nicht anders vermerkt, liegen die Bildrechte bei den Autoren der Artikel oder der Redaktion

VSN-Shop

Hansrudolf Dütsch

www.vsn-shop.chh.duetsch@bluewin.ch



Gaschromatographie



In einer flüchtigen Flüssigkeits- oder Gasprobe enthaltene Substanzen trennen, analysieren und identifizieren.

Lehren Sie Ihren Schüler:innen die Chromatographie mit dem Vernier-Gaschromatographen. Mithilfe dieses Geräts können sie unbekannte Substanzen identifizieren, chemische Reaktionen überwachen und Produkte aus einer Destillation messen.

Go Direct® Mini GC™

Das Messgerät kann sowohl polare als auch unpolare Verbindungen messen. Der Go Direct Mini GC lässt sich per Bluetooth® oder USB mit Ihrem Gerät verbinden.



**Frühlingsrabatt:
bis 31. Mai 2026**

18%



[Zum Produkt](#)

Chromatographie-Experimente mit dem Go Direct Mini GC™



Fünf Experimente zur Gaschromatographie sind im mitgelieferten E-Book enthalten.

Vernier Instrumental Analysis®

Mithilfe dieser kostenlosen App können Sie ganz einfach Messgeräte in Ihren Chemieunterricht integrieren.



[Zum Software](#)

Besuchen Sie unseren Webshop | educatec-systems.ch