



LUND UNIVERSITY

En bakterie simmar aldrig ensam

Stenhammar, Joakim

Published in:
Kemivärlden, Biotech, Kemisk tidskrift

2017

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Stenhammar, J. (2017). En bakterie simmar aldrig ensam. *Kemivärlden, Biotech, Kemisk tidskrift*, 2017(5), 18-19.

Total number of authors:
1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

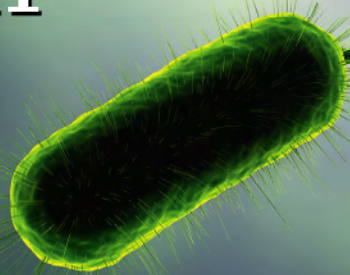
Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

En bakterie simmar aldrig ensam



Du kanske simmade i sjön i somras?

Bakterier simmar också men i en högviskös värld styrd av mycket exotiska hydrodynamiska egenskaper som får oväntade effekter.

[Av Joakim Stenhammar, Fysikalisk kemi, Kemicentrum, Lunds universitet]

Bakterier som lever i vatten använder sig av roterande trådliska utskott, så kallade flageller, för att transportera sig och utforska sin omgivning i sökandet efter föda (Figur 1a). Att ägna sig åt simning i den mikroskopiska världen är dock något annat än i den makroskopiska världen, på grund av att vattens hydrodynamiska egenskaper är radikalt annorlunda på längdskalor som är åtskilligt kortare än vad vi människor är vana vid.

Dessa egenskaper brukar sammanfattas i det så kallade *Reynoldstalet*, Re , som mäter kvoten mellan tröghetskrafter och friktionskrafter på en kropp som rör sig genom en vätska (se faktaruta). Vid höga Reynoldstal, som för en simmande människa ($Re \approx 10^6$), dominerar tröghetskrafterna, vilket bland annat visar sig genom att en människa kan fortsätta glida en bra bit i simbassängen även efter hon slutat simma.

För en *E. coli*-bakterie (cirka 2 mikrometer lång) som simmar med en typisk hastighet på 20 mikrometer per sekund dominerar dock friktionskrafterna fullständigt

($Re \approx 10^3$), och när den slutar rotera sina flageller kommer den således omedelbart att stanna, likt en människa som försöker simma i honung. Detta innebär också att flera av de tekniker som fiskar och mänskliga simmare använder sig av, såsom att svänga på en stjärtfena eller sparka med fötterna likt en frissimmare, vore oanvändbara för en bakterie.

Även om det kan förefalla opraktiskt att leva i en så högviskös värld så leder dessa exotiska hydrodynamiska egenskaper till lika exotiska fenomen i suspensioner av simmande bakterier. Ett av de mest studerade av dessa uppstår när exempelvis *E. coli* eller *Salmonella*-bakterier koncentreras till cirka 2 volymprocent, varpå bak-

terierna upphör att simma på ett oorganiserat sätt och istället bildar stora "flockar". Dessa flockar rör sig på ett korrelerat sätt över långa längdskalor och med höga hastigheter jämfört med de isolerade bakterierna.

Detta fenomen har döpts till *bakteriell turbulens*, på grund av att de kaotiska flödesmönstren liknar det turbulenta flödet kring en flygplansvinge eller en båtpropeller (Figur 2). Dock är sådan "klassisk" turbulens helt och hållet förknippad med höga Reynoldstal ($Re > 1000$), och mekanismen bakom bakteriell turbulens är således fundamentalt annorlunda. De senaste åren har flera experimentella och teoretiska forskargrupper kunnat visa att förklaringen går att finna i de mikroskopiska vätskeflöden som varje bakterie skapar i den omgivande vätskan när den simmar (Figur 1 b). När koncentrationen är hög kommer bakterier som befinner sig i närheten att känna av och orientera sig i flödet så att de börjar simma i samma riktning, vilket leder till de koherenta flödesmönster som karakteriserar bakteriell turbulens.



Tidigare teoretiska modeller för bakteriell turbulens har vilat på ett antagande om att bakterierna rör sig helt kaotiskt så länge koncentrationen är lägre än vad som krävs för bakteriell turbulens.


Nyligen har dock mina kollegor och jag, med hjälp av en matematisk modell och storskaliga datorsimuleringar, visat att de korrelationer mellan bakterier som leder till bakteriell turbulens i själva verket sträcker sig till väsentligt lägre koncentrationer, och att bakterier inte kan ses som isolerade individer ens vid koncentrationer som är en tiondel av dem som krävs för turbulens. Nyckeln till att förstå detta ligger i att styrkan i det vätskeflöde som skapas av varje bakterie, vilket kan beskrivas som flödet från två lika stora och motriktade krafter som verkar på vätskan (se Figur 1a), har lång räckvidd: den hydrodynamiska växelverkan mellan två bakterier avklingar kvadratisk med avståndet mellan dem. Detta gör att bakterier redan vid låga koncentrationer kommer att växelverka genom sina vätskeflöden, trots att avståndet mellan bakterierna är relativt stort.

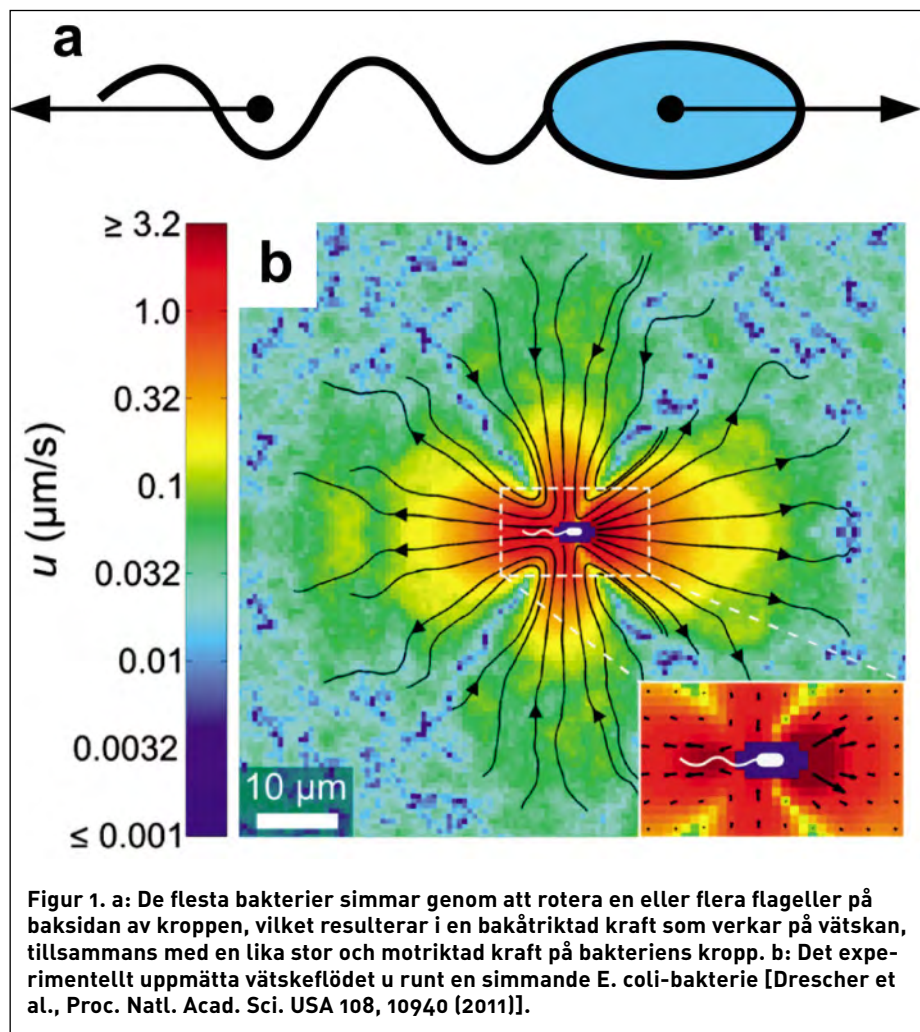
Forskningen på kollektiva fenomen i bakteriesuspensioner visar på ett fascinerande sätt hur komplexa flockbeteenden kan uppstå även i en population av primitiva organismer, och att dessa går att förklara med relativt enkla fysikaliska argument. Med detta sagt är det intressant, även ur en biologisk och medicinsk synvinkel, att förstå hur bakterier beter sig vid höga koncentrationer. Framförallt förefaller det osannolikt att flockbeteenden såsom bakteriell turbu-

lens skulle vara en evolutionär slump, och bakteriekoncentrationer på dessa nivåer var sannolikt vanliga i de vattenpölar där det tidigaste mikrobiella livet uppstod.

Att förstå den eventuella evolutionära bakgrunden till bakteriell turbulens, och att på sikt använda kunskaperna i medi-

ciniskt syfte, kommer att kräva ytterligare spännande forskning i gränslandet mellan biologi, fysik och medicin.

Referens: J. Stenhammar, C. Nardini, R. W. Nash, D. Marenduzzo & A. Morozov, *Phys. Rev. Lett.* 119, 028005 (2017). 



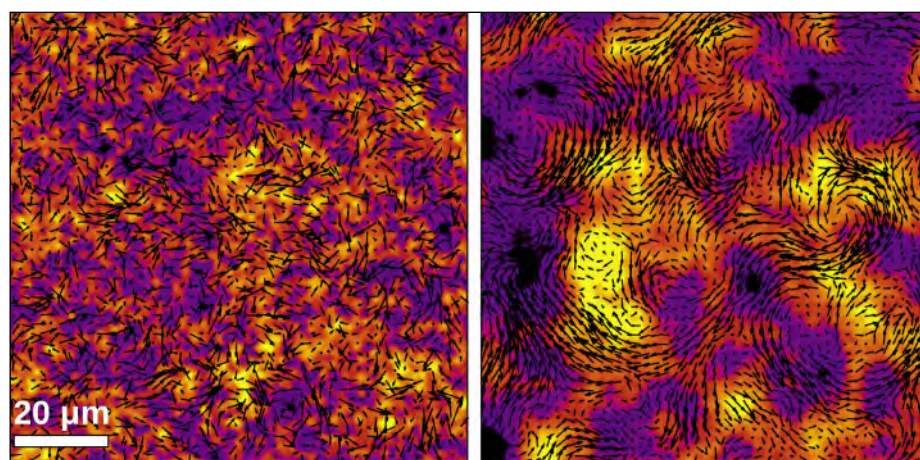
Figur 1. a: De flesta bakterier simmar genom att rotera en eller flera flageller på baksidan av kroppen, vilket resulterar i en bakåtriktad kraft som verkar på vätskan, tillsammans med en lika stor och motriktad kraft på bakteriens kropp. **b:** Det experimentellt uppmätta vätskeflödet u runt en simmande *E. coli*-bakterie [Drescher et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108, 10940 (2011)].

Snabbare än Sarah Sjöström

Reynoldstalet: Reynoldstalet (Re), namngivet efter hydrodynamikpionjären Osborne Reynolds (1842-1912), är ett dimensionslöst tal som anger hur en vätskas viskositet beror på längdskalan och strömningshastigheten (lågt Re motsvarar hög viskositet). Det tecknas vanligen som $Re = \rho u L / \mu$, där ρ är vätskans densitet, u är en karaktäristisk strömningshastighet för problemet ifråga, L motsvarande längdskala, och μ vätskans dynamiska viskositet.

För vatten gäller att $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ och $\mu = 10^{-3} \text{ Pas}$. För en motions-simmare ($L = 2 \text{ m}$) som simmar med en hastighet av $u = 0,5 \text{ m/s}$ blir således $Re = 10^6$ – mer än tillräckligt för att skapa turbulenta flöden! För en bakterie ($L = 2 \mu\text{m}$, $u = 20 \mu\text{m/s}$) som kämpar i samma simbassäng ger motsvarande beräkning $Re = 4 \cdot 10^{-5}$. I bakteriernas värld upplevs alltså vatten som över 10 miljarder (!) gånger mer visköst än vad vi är vana vid.

Trots detta lyckas många bakterier simma 10 gånger sin egen kroppslängd per sekund – 10 gånger snabbare än Sarah Sjöström!



Figur 2. Vätskeflödet i en simulerad bakteriesuspension för en låg (vänster bild) och en hög (höger bild) koncentration av bakterier. Bakteriell turbulens syns i den högra figuren genom att vätskeflödena är koherenta över stora längdskalor i förhållande till de enskilda bakteriernas storlek (cirka $2 \mu\text{m}$). Bilderna visar ett tvärsnitt genom den 3-dimensionella suspensionen. Vektorerna betecknar det av bakterierna genererade flödet parallellt med planet, och färgerna motsvarande komponent vinkelrätt mot planet, från svart (lägst hastighet) till gult (högst hastighet).