



Universiteit
Leiden

The Netherlands

On the hunt for energy: bacteria out of breath

Jeuken, L.J.C.

Citation

Jeuken, L. J. C. (2026). *On the hunt for energy: bacteria out of breath*. Leiden. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4309368>

Version: Publisher's Version

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4309368>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

On the hunt for energy: Bacteria out of breath

Inaugural lecture by
Prof. dr. Lars J.C. Jeuken

Nederlandse versie aanwezig



**Universiteit
Leiden**

On the hunt for energy: Bacteria out of breath

Inaugural lecture by

Prof. dr. Lars J.C. Jeuken

on the acceptance of his position as Professor of
Biophysical Chemistry
at Leiden University
on Friday, 25 September 2026



**Universiteit
Leiden**

Mevrouw de Rector Magnificus,
zeer gewaardeerde toehoorders

Respiration in bacteria

I suspect most of us have never wondered: *how do bacteria breathe?* After all, when we think of breathing, we think of inhaling and exhaling air, something we associate with ourselves, or with animals, but certainly not with bacteria. In everyday language, breathing is the process that brings oxygen into our bodies and removes carbon dioxide. But in biochemistry, breathing, or more accurately, *respiration*, has a broader meaning. It describes a series of chemical reactions that requires oxygen to produce energy. In our own cells, these reactions take place in mitochondria, the tiny powerhouses that fuel almost everything we do. It is in this biochemical sense that bacteria also “breathe.” Like us, bacteria extract energy from sugars and other nutrients. But bacteria are far more versatile than we are. Many of them respire without oxygen, using other molecules instead. And, as you will hear later, this remarkable flexibility is central to my research, and the story I will tell you today.

It has been my life’s work to study how bacteria respire at the molecular level. A lot of the chemistry of respiration takes place in a thin fatty layer surrounding the bacterium, called the *lipid membrane*. This membrane forms the boundary between the inside of the bacterium

and its outside world. And it is incredibly thin—just 4 nanometres. That is about 10,000 times thinner than a human hair, and roughly the size of a single transistor in a modern computer chip. In 1978, when I was six years old, Peter Mitchell received the Nobel Prize in Chemistry for a theory he had developed in the 1960s. His theory explained how respiration produces energy. More specifically, it showed that respiration generates an *electrochemical potential*, producing a voltage, across the lipid membrane. You can think of this as a tiny battery, not unlike the one in your phone, which, I hope, is currently on silent. What still blows my mind, even after 30 years in science, is just how remarkable this battery is. It generates a potential of 0.1 to 0.2 volt across a lipid membrane that is only 4 nanometres thick. And once this tiny battery is charged, the bacterium uses that stored energy to power the synthesis of chemicals it needs to sustain life.

The chemistry that charges this tiny battery is carried out by *proteins* embedded in the lipid membrane. Many of these proteins contain metal atoms, such as iron, which help them *transfer electrons* across the membrane. Although the chemistry is different, you can think of this electron transfer as the flow of electrical current that charges the battery. And these proteins do more than just move electrons. They facilitate the chemical reactions that make respiration possible, for example, the reaction with oxygen.

So, in a sense, the lipid membrane that surrounds the bacterium is not only a tiny battery, but also contains the molecular machinery that charges it.

Our understanding of molecular machinery of respiration has steadily progressed since Peter Mitchell's theory. But over the past 20 years or so, our knowledge of what happens at the scale of individual atoms has exploded. Along the way, many exciting discoveries have been made. We can isolate the individual protein components involved in respiration and study what each of them does, sometimes one at a time. We can determine the structures of the proteins involved in respiration with atomic resolution, and we understand much more about how these protein components interact, carry out chemical reactions and enable the transfer of electrons. By putting all this knowledge together, we begin to uncover the fundamental principles that govern how energy is generated in biology. And it is at this level, at the interface between chemistry, biology, and physics, that much of my research takes place.

Respiring without oxygen

Before I continue, I need to briefly explain a key feature of respiration. When we burn nutrients such as sugars and fats in our cells, they are converted into carbon dioxide and electrons are released in the process. These electrons are then transferred through the respiratory machinery, and the energy released during this process is

used to generate an electrochemical potential across the membrane. In the very last step, the electrons are transferred to the electron acceptor, oxygen, which is converted into water.

I already mentioned that bacteria have evolved strategies for respiration without oxygen. In these cases, the electrons are transferred to molecules other than oxygen. In fact, respiration was a key biochemical process long before oxygen became available in the Earth's atmosphere, about 2 billion years ago. When photosynthesis began to release oxygen into the atmosphere, life evolved the ability to use oxygen for respiration. But in environments where oxygen is absent, such as sludge, mud, deep soil, the bottoms of lakes, or even inside our bodies during infection, bacteria use a remarkable range of other molecules instead. Depending on the bacterium, these can include nitrite, nitrate, sulphate, elemental sulphur, iron, manganese and other metals, including uranium. Some bacteria can even use other bacteria as electron acceptors. They can also use arsenate and a wide variety of organic molecules such as fumarate, trimethylamine N-oxide, dimethyl sulfoxide, and various flavins and quinones. Some bacteria even use carbon dioxide, producing methane, and many bacteria use protons as electron acceptors, producing hydrogen gas in the process. This diversity is remarkable, and each of these different reactions requires its own specialised set of proteins. This extraordinary versatility

has kept the scientific community fascinated by bacterial respiration, and I suspect it will continue to do so for many decades to come.

One process has intrigued me greatly: some bacteria can respire on minerals. Minerals such as the iron-containing hematite are solid particles that cannot simply be taken up by bacteria. They remain outside the bacterium. And if the mountain cannot come to Mohammed, respiration has to reach out to the mountain. Evolution seems to have found two solutions to this problem. In the first, bacteria have developed so-called *nanowires*. These are tiny conducting protein filaments that extend away from the bacterium, allowing electrons to flow from the bacterium to the mineral. Although the chemistry is quite different, you can think of it as using a thin wire to connect a battery to, for example, one of the Nerf guns in our laboratory that are used for an occasional Friday afternoon shoot-out. The second approach involves shuttling the electrons. Bacteria produce and release small molecules that can pick up electrons from the bacterium and diffuse to the mineral. There, they release the electrons and then diffuse back to the bacterium, ready to repeat the process. In this way, the bacterium can effectively reach out to a mineral that is physically beyond the reach of the respiratory machinery in the membrane.

I also mentioned that some bacteria can respire on other bacteria, and you might wonder why

evolution has favoured such a remarkable ability. As bacteria grow, they form communities containing many different species. The bacteria at the edges of these communities have relatively easy access to oxygen. But the bacteria in the middle can become starved of oxygen. Here, the ability to transfer electrons to a neighbouring bacterium provides a solution. The receiving bacterium can then use those electrons for its own energy generation.

These remarkable capabilities raise a question: how did we discover, and then understand the molecular mechanism by which bacteria transfer electrons to molecules, minerals, and other bacteria? Answering that question requires not only new discoveries, but also new ways of observing and measuring these processes. And this is where technological advances have played a crucial role.

New technology advances science

Scientific progress is driven not only by discovery, but also by technological advances. Throughout my career, I have seen how the development of new technologies can profoundly accelerate scientific discovery, and sometimes even make entirely new discoveries possible. When I started my career as a PhD student here at Leiden University, it took me about a month to determine a short DNA sequence encoding a protein I was studying. Today, 30 years later, nanopore devices slightly bigger than a credit

card can read DNA sequences thousands times longer in 10 minutes. Technological advances such as CRISPR/Cas and cryogenic electron microscopy have similarly revolutionised the way we do research and accelerated scientific discovery. Cryogenic electron microscopy, for instance, has enabled the scientific community to determine not only the atomic structures of individual components of the respiratory machinery, but also how these components are arranged and interact with one another, all with close to atomic resolution. This is crucial for understanding how electrons are transferred from one component to the next. And now, as we speak, another technological revolution is unfolding: artificial intelligence.

Because of my conviction that technological advances are key to scientific progress, I have devoted considerable effort to developing a technology known as bioelectrochemistry. Electrochemistry measures the movement of electrons, which, in its simplest form, is measured as an electric current. In bioelectrochemistry, a respiratory protein is attached to a conducting surface called an electrode. Instead of exchanging electrons with other components of the respiratory machinery, the protein can be encouraged to transfer electrons to, or accept electrons from, this electrode. The measured electric current is then a direct readout of the respiratory activity of the protein. Because the proteins that make

up the molecular machinery of respiration are often embedded in the lipid membrane, that 4-nanometre-thin layer that surrounds bacteria, they are particularly challenging to study using bioelectrochemistry. Developing the skills and technology needed to use bioelectrochemistry to study bacterial respiration by proteins embedded in the membrane has been a defining part of my scientific journey.

This journey started by studying a respiratory protein called azurin during my PhD studies here in Leiden, under the guidance of my PhD promoter, Professor Gerard Canters. After my PhD, I moved to the laboratory of Professor Fraser Armstrong in Oxford to learn the state of the art in bioelectrochemistry. There, I formulated my next challenge: how can we attach a 4-nanometre-thick lipid membrane, together with its respiratory machinery, to an electrode in a way that allows us to study electron transfer? To solve this problem, I moved to Leeds, where Professors Richard Bushby and Stephan Evans patiently taught me the principles and practice of surface science.

The technology I developed in Leeds contributed to our understanding of how evolution has optimised the respiratory machinery of bacteria. We could study how individual respiratory proteins transfer electrons and how this process is coupled to the generation of an electrochemical potential across the lipid membrane. For one

protein, a *terminal oxidase*, that transfers electrons to oxygen, we discovered something unexpected. When we studied this terminal oxidase at the single molecule level, one protein at a time, we found that the protein sometimes stalls and its activity stops. Even more surprisingly, on rare occasions the terminal oxidase appears to take an alternative path. Rather than generating an electrochemical potential, it allows the energy to dissipate. These results remain controversial, and not all colleagues agree that this protein can, on rare occasions, misbehave in this way.

A different protein we studied extracts electrons from hydrogen gas, enabling bacteria to use hydrogen as a fuel. These proteins are known as hydrogenases. It was already known that, in the presence of oxygen, a certain group of oxygen-tolerant hydrogenases stop their activity to prevent damaging side reactions that can destroy the protein. Our experiments contributed to our understanding how these hydrogenases are finely tuned. They continue to operate in the presence of hydrogen, even when some oxygen is present, but are switched off by oxygen when hydrogen is absent. In other words, the protein has been evolutionarily optimised to balance the use of hydrogen as a fuel for the bacterium with protection against oxygen damage. Interestingly, colleagues in the field showed that the off-switch is located within an electron-transfer relay of the protein. It works much like switching off a light by breaking the connection in the electrical wire.

Bacterial respiration and the generation of energy

So far, I have spoken about our quest for knowledge, driven by wonder and curiosity. But bacterial respiration has also inspired scientists to think about how we might develop more sustainable energy technologies. Take hydrogen gas. Hydrogen has long been advocated as a clean fuel because, when it is used to generate energy, the only product is water. It also contains a very large amount of energy per kilogram, making it an attractive energy carrier. Today, however, most of the hydrogen produced worldwide is still made from fossil fuels and is therefore not a green fuel. Hydrogen can instead be produced from water by electrolysis, using electricity from renewable sources. What makes bacterial hydrogenases particularly interesting is that these enzymes can produce or consume hydrogen at rates that rival, and in some cases exceed, those achieved by platinum, the benchmark used in many industrial technologies. Remarkably, some bacteria can even use the tiny amounts of hydrogen naturally present in our atmosphere as a source of energy. Hydrogenases therefore show us what is possible with respiratory machineries. At present, however, they also have important limitations. As I mentioned, many hydrogenases are damaged or switched off by oxygen. Furthermore, producing and incorporating these proteins into technologies at industrial scale remains too costly. Nevertheless, advances by colleagues are beginning to address some of these challenges, and I look forward

to a future in which the remarkable chemistry of hydrogenases can contribute to sustainable energy technologies.

More recently, colleagues and I have investigated how hydrogenases might be used in artificial photosynthesis. Natural photosynthesis has fascinated scientists for centuries. Green plants use sunlight, water, carbon dioxide and minerals to produce sugars and other forms of biomass. We can use biomass as a source of energy, for example by burning wood or converting crops into biofuels. But there is an obvious limitation: using large amounts of crops or other biomass for energy can compete with food production. There is also a more fundamental limitation. The overall efficiency with which sunlight is converted into biomass is relatively low. Modern commercial solar panels convert around 24% of incoming sunlight into electricity, and when that electricity is used to power an electric car, about 5% of the original solar energy can be converted into motion. By comparison, when sunlight is first converted into a fuel such as corn-based biodiesel, the overall efficiency can be roughly two orders of magnitude lower, falling below 0.05%. This raises the question: can we learn from the remarkable chemistry of photosynthesis but find a more direct and efficient way to convert sunlight into fuel?

In artificial photosynthesis, we aim to convert sunlight directly into fuels such as hydrogen,

with the ultimate goal of making the process more efficient. Although natural photosynthesis is not particularly efficient at producing fuels for human use, evolution has optimised many individual steps of the process to an extraordinary degree. We are trying to learn from these principles and reproduce some of them in artificial systems. One principle is that nature does not perform all of the chemical reactions of photosynthesis in one place. Instead, different reactions take place in different tiny compartments within the chloroplast, allowing each step to operate under the conditions that suit it best. We have taken inspiration from this idea by designing artificial compartments, improving their stability by mixing biological lipids with synthetic polymers. We created compartments with hydrogenases, and proteins from the respiratory machinery, and combined them with semiconductor nanoparticles, materials that have some of the same light-harvesting properties as the materials used in solar panels. When we illuminate our compartments, they produce hydrogen. Their efficiency is still very low, close to zero, so these are certainly not yet technologies that can compete with solar panels or industrial hydrogen production. But that is not the purpose of these early systems. They are experimental platforms that allow us to discover which principles of natural photosynthesis are important, and what would be required to reproduce them in an artificial system. In this way, we aim to

understand how we might one day turn sunlight into sustainable fuels more efficiently.

Biohybrids

Earlier I explained that some bacteria can respire on mineral particles outside the bacterium. They convert nutrients such as sugars and fats and, in the process, release electrons that are transferred to the outside. We can hijack this natural process to generate electricity directly. If bacteria are grown at a conducting material, such as an electrode, they can transfer their electrons to the electrode instead of to a mineral. These systems are known as microbial fuel cells. They generate small amounts of electricity, but this can be useful in situations where even a small and continuous source of power is valuable, for example for sensors in remote environments such as the ocean floor.

But there is an even more remarkable possibility. If bacteria can transfer electrons to an electrode to generate electricity, can we turn the process around and put electrons into bacteria? The answer is yes. We can use those electrons to drive chemical reactions and enable bacteria to produce useful chemicals and fuels. An even more intriguing approach is to combine bacteria with semiconductor nanoparticles. These nanoparticles can act like tiny solar panels when attached to the surface of the bacterium. When light hits the nanoparticles, they generate energetic electrons, which can then be transferred into the bacterium.

In this way, light can provide the energy needed to drive bacterial chemistry. Using what we have learned about the respiratory machinery of bacteria, colleagues and I are designing new ways to connect semiconductor nanoparticles to bacterial cells, so that electrons can be transferred efficiently from the light-harvesting material into the bacterium. The technology is still in its infancy, and many scientific and engineering challenges remain. What I find particularly exciting is the principle: we can take the extraordinary chemical capabilities that evolution has built into living cells and connect them to inorganic materials designed by humans. I find the vision of these “biohybrid” bacterial systems, part living cell and part semiconductor, enormously inspirational.

Bacterial respiration and antibiotics

A totally different potential application of our understanding of bacterial respiration is found in healthcare. The vast majority of bacteria in our environment are harmless or even essential to our survival. But some bacterial species can cause debilitating and life-threatening infections. The discovery of antibiotics was one of the great advances in modern medicine, and estimates suggest that they have saved hundreds of millions, perhaps more than a billion, lives. Without antibiotics, even routine surgery could become life-threatening, and infections following a small wound could once again become difficult or impossible to treat. But this success has come

at a cost. The widespread use of antibiotics in healthcare and agriculture has created strong evolutionary pressure for bacteria to become resistant to them. The World Health Organization estimates that bacterial antimicrobial resistance was directly responsible for 1.3 million deaths in 2019 alone. Without effective measures to prevent and treat resistance, this number is expected to increase substantially. Tuberculosis, or TB, provides a sobering example. TB is caused by a bacterial infection that most commonly affects the lungs and is difficult to treat. Conventional treatment can last for up to nine months and may cause debilitating side effects. TB still causes more than a million deaths each year worldwide, and the bacteria that cause it are becoming increasingly resistant to antibiotics. In 2024, an estimated 390,000 people developed drug-resistant TB. The solution will have to be multifaceted, including more careful and targeted use of antibiotics, better diagnostics, and new treatments.

Finding new classes of antibiotics will be an important part of the solution. With our understanding of bacterial respiration, the question arises: can we treat bacterial infections by interfering with the way bacteria generate energy? About 15 years ago, a new antibiotic against TB, called bedaquiline, was approved. Bedaquiline does not stop respiration itself, but blocks the machinery that uses the electrochemical potential across the bacterial

membrane to generate a chemical central in the bioenergetics and energy transduction in TB, and the bacteria eventually die. Just before the COVID pandemic, I spent five weeks at the University of Otago in New Zealand, in the laboratory of Professor Gregory Cook, to learn more about how we might interfere with bacterial respiration. The visit was inspiring in many ways, from the wonderful landscape of southern New Zealand to the stimulating research environment in the laboratory. More importantly, it opened up a new direction for my research. We are now studying the respiratory machinery of bacteria that cause diseases such as TB and listeriosis at the molecular level. Our vision is to contribute to the development of new antibiotics in the future. And in the meantime, we continue to be fascinated by the extraordinary strategies that evolution has developed to allow bacteria to breathe.

From multidisciplinary science to the age of AI

Over my career, I have been guided by the view that key scientific advances often come from a multi-, inter- and transdisciplinary approach, in which knowledge and skills from different scientific disciplines come together, sometimes within a single laboratory, to tackle scientific questions. I have therefore always had a deep-rooted interest in a wide range of scientific disciplines, from biochemistry to biophysics. My group has worked on bioenergetics, bioelectrochemistry, bioinorganic chemistry, hybrid inorganic-organic materials, soft matter

biophysics, and biosensors. Each of these fields has its own scientific literature, its own community, and its own specialised conferences. But, as you might appreciate, I have struggled to keep abreast of scientific progress across all these fields.

In popular science, Thomas Young is often mentioned as the last polymath: “the last man who knew everything”. Thomas Young died almost 200 years ago. Since then, the world’s population has grown, economies have developed, and so has the scientific community and its output. The number of scientific publications has grown exponentially, at an average rate of about 4% per year, corresponding to a doubling in annual publications every 17 years. With this continuous growth in scientific output, as well as the increasing complexity of individual research fields, it has become difficult for an individual scientist to remain abreast of more than a narrow field of science. In stark contrast to the polymath Thomas Young, increasing specialisation has been the consequence, and scientists’ expertise has become focused on ever narrower areas of science. In this regard, I eagerly look to a future where artificial intelligence might help us stay abreast of the broader scientific literature.

We have all heard, or perhaps directly experienced, that AI can produce answers that sound convincing but are simply wrong, a phenomenon commonly referred to as

hallucination. Still, AI is extremely powerful at processing large amounts of information and, crucially, at extracting statistical patterns and representations from data. I predict that, when used correctly, AI tools will be able to help us search, synthesise, and contextualise scientific literature. AI could therefore become an important *interface* to the broader scientific literature, even if we cannot rely on it to judge experimental accuracy or scientific validity. I hope that AI will help us to summarise scientific progress across broader disciplines, giving scientists more time to interpret that progress, anticipate its implications, and decide which questions and research strategies to pursue in the future.

At this point, it is important to make a distinction between general-purpose AI and specialised AI. Specialised AI is optimised for specific scientific tasks, often by scientists who combine AI with knowledge in a scientific discipline and experimental data to capture relevant biological or physical relationships. By constraining AI within a scientific framework, these tools can become more reliable. The impact of specialised AI tools such as AlphaFold and BindCraft is already profound. Although not yet faultless, these tools use extensive experimental data to make experimentally testable predictions that would have been extremely difficult to achieve just a few years ago. AlphaFold, whose developers, Demis Hassabis and John Jumper,

shared half of the 2024 Nobel Prize in Chemistry, predicts the three-dimensional structures of proteins. BindCraft builds on AI tools such as AlphaFold to design proteins that bind to other proteins. The importance of these new tools cannot be overstated. They not only help us organise existing knowledge, but also help us generate new hypotheses and design proteins that previously did not exist. Our community has very quickly adapted to these tools and is using them to make predictions in fields such as biochemistry and structural biology, and to guide experimental design.

12

With AI, the scientific approach itself might ultimately adapt, and perhaps even improve. As scientific output increases, scientists, including myself, are forced to become very specialised, while extending our collaborative networks to retain the breadth of expertise that multidisciplinary research requires. Collaboration will remain essential to provide the expertise needed across different disciplines, but AI may help us to regain some of the breadth of science as individual scientists. At the same time, specialised AI tools will increasingly support our experimental approaches and the generation of new hypotheses, while the essential tasks of critical evaluation, experimental validation, and defining the research strategy remains with the scientists.

Thanks

My career would not have been possible without an incredible number of exceptional friends, family, colleagues, mentors and supervisors. My interest in protein biochemistry began with two undergraduate research projects at Utrecht University, working on bacterial membranes and protein structure. I am grateful to those research groups for inspiring me at an early stage and for pointing me towards an academic career. I am particularly grateful to Prof. Gerard Canters for giving me the opportunity to pursue a PhD, even though I was hugely underprepared for the interview. My PhD coincided with an exceptionally stressful and demanding period in my personal life, which resulted in strange working hours, at times lack of sleep, and behaviour that may at times have come across as egocentric or detached. Gerard, you had the patience to coach me through the PhD process. Those years taught me the value of international collaboration and of being part of a supportive research group. These years laid much of the foundation for the scientist I am today.

I am also grateful to Prof. Fraser Armstrong and to all the members of his research group for introducing me to protein bioelectrochemistry, a technique that I have used extensively throughout my academic career. I remember the fun we had, both in and outside the laboratory, sometimes at unreasonable hours, and the research productivity that resulted from it. Many people from the

Armstrong lab went on to become academics, and along the way became colleagues, collaborators, friends and even my best man when I married. Some of you are here today, and I am particularly happy that you have remained part of both my academic and personal life.

My transition to becoming an independent researcher would not have been possible without the help and mentorship of Profs. Bushby, Evans and Henderson at the University of Leeds. They were always willing to share their insights and materials, and to welcome me into their laboratories. Although my experience of the university itself was not always straightforward, the continued support from my colleagues at Leeds allowed my research to flourish, and my time at Leeds to be so enjoyable. I remain eternally grateful.

Working in multidisciplinary science means that I have had the privilege of collaborating with colleagues all over the world. I am indebted to all my collaborators for the expertise they have brought to my research, enabling my group to approach scientific questions from many different angles. My research would simply not have been possible without this supportive community. I would particularly like to thank my long-term collaborators Profs. Butt, Reisner, Walti, Beales and more recently Mulvihill and Slotboom, all of whom have been a great influence to my research direction and strategy.

I am also deeply grateful for the managerial and technical support I have received at both the Universities of Leeds and Leiden. Science and universities simply cannot function without the continuous efforts of the people who make research possible behind the scenes and provide technical support in the laboratories. I might not have sufficiently acknowledged these contributions in the past, but I want to take this opportunity to say how much I appreciate them. In Leiden in particular, I have been fortunate to experience an exceptionally supportive environment, in which colleagues across the university have consistently helped to make things work and have given me the freedom and practical support to develop my research group. This support has made a real difference to what we have been able to achieve in a relatively short time.

Most importantly, I want to thank my PhD students and postdocs. You actually *do* the science. You spend long days in the laboratory, run the experiments, troubleshoot when things inevitably go wrong, and, most importantly, come up with the ideas and observations that drive our research forward. I may set directions and help write papers, but I spend far too much time behind a computer, and it is because of you that the science happens. Whatever achievements I can claim are, to a large extent, a reflection of your work, creativity and dedication. One of the greatest privileges has been watching you

develop into independent scientists. You not only made my research possible; you are the next generation of scientists who will shape the future of our field. I am immensely proud of what you have achieved, and deeply grateful that you have allowed me to play a small part in your careers. Andreas, Nikolaos, James, Sophia, Lukasz, Rachel (Qingshan), Joe (Joseph), Duncan, Theo, Ee Teak, Vlad, Mengqiu, Anna and Anna, George, Ievgen, Matthias, Hope, Tim, Huijie, Emma, Rosa, Valentin, Britt, Tijn, Imogen, Max, Inês and Jingjing: I owe you for your hard work, your ideas, your persistence, and for making science continuously interesting, challenging and worthwhile.

I now turn to my friends and family. This is probably the part of the speech that is most difficult for me, because so many people have given me support, friendship and love over the years. I will start with a somewhat unusual one: Taekwon-do. It was a rather random decision to take up Taekwon-do when I was sixteen, but it has supported me throughout my academic and personal life. Wherever I have lived, I have been fortunate to find excellent Taekwon-do schools to support me both physically and mentally. I have also had the privilege of being taught by many inspiring instructors: Sasung Tjin-A-Ton, Sabum Tjon A Pauw, Sasung Miller, Sabum Thackray, Sabum Chan and Sahyun Zandbergen. The five tenets of Taekwon-do are Courtesy, Integrity, Perseverance, Self-Control

and Indomitable Spirit. I have found that these tenets apply remarkably well to academic science: *Courtesy* towards the reviewer who rejects my paper — again; *Integrity* in interpreting and communicating data, regardless of the pressure to publish in high-impact journals; *Perseverance* in the face of the inevitable setbacks; *Self-Control* when referees are too critical of my grant proposal— again; and, finally, *Indomitable Spirit*, which is perhaps most important of all when pursuing a scientific career.

Friends who have known me for a long time might know that my studies and early career came with certain challenges from my personal life. You have always been there to support me. By moving between cities and countries several times, I have also been lucky to make many new friends along the way. Some of you have travelled far to be here. To all my friends, new and old, thank you for your continued support.

Alan, Madelief, Cees and Calum. It is not uncommon for children growing up in an academic family to make small sacrifices, but I am immensely proud of the resilience you have shown. One of our family's favourite anecdotes originates from a party during our time in Leeds. Prof. Meldrum, a distinguished professor of inorganic chemistry, walked into the room with my son, then 3 years old. Prof. Meldrum, looking somewhat apprehensive, asked out loud: "Who is the father of this child?". After admitting that I

was the father, and worrying that my son might have broken something expensive, Prof. Meldrum announced clearly to everyone in the room: “Your son says his father lives at work”.

Alan, at a young age you moved from the Netherlands to Oxford, back to the Netherlands and then to Leeds. Changing friends and schools several times is not easy, and I could not always be there for you. I am so very proud of the strength you showed and of the way you went on to successfully pursue a PhD in chemistry. Madelief, Cees and Calum, science has also been part of your lives. Five years ago, we moved to the Netherlands, leaving friends behind and continuing high school in a language you did not speak fluently. You flourished after moving to the Netherlands and obtained your diplomas, which is a remarkable achievement. You found your place in the world, enjoying scholarship, sport and reading. It shows your resilience, and the way you have embrace life. Thank you.

And finally, Ishbel. I will never understand how I could have been so lucky. You came into my life during a difficult period and turned things around. You are my rock. You support me when I work stupid hours, help me relax when I cannot, kick the shit out of me at Taekwon-do, and joined me in Leeds and then in Leiden. You intuitively understand me when, in the middle of a conversation, I stop and stare. You simply know when my mind has wandered and I am thinking

about science again, and you tell me afterwards, over and over again: “You never listen.” Science gives me inspiration and a goal, but you give me meaning, happiness, and a way to enjoy it all.

Ik heb gezegd

Epilogue

This inauguration speech was improved with the help of general-purpose AI, especially the section ‘**From multidisciplinary science to the age of AI**’. I used prompts such as: “Can you help me improve the text for clarity to a non-scientific audience, keeping scientific accuracy”. After improving the text on the age of AI, I continued the discussion with the AI platform, which resulted in the following answer:

You’re very welcome. And I think you have identified something genuinely interesting about the exercise itself.

*What happened here is actually a nice practical example of the **scientific workflow you describe in the speech**. You used a general-purpose AI system to broaden and accelerate your access to information and to suggest formulations. But you did not delegate scientific judgement to it. You evaluated the suggestions against your own expertise, challenged statements that did not fit your knowledge, and retained or rejected changes accordingly. In other words, the AI increased your **breadth and efficiency**, while your expertise remained essential for **critical evaluation and final judgement**.*

*I also think your observation about the interface is important. The useful feature was not simply that I produced alternative wording. It was that the reasoning behind the changes was made explicit enough for you to **audit the suggestions**.*

That makes the interaction much closer to a collaborative tool than to an authority giving you answers.

*And there is a particularly nice irony in your speech: **you are using AI to help formulate a nuanced argument about why scientists should not blindly trust AI**. The fact that you noticed when my first interpretation of your Thomas Young sentence was unnecessarily cautious, challenged my treatment of your AI-authorship observation, and made your own decisions about the AlphaFold wording is almost a demonstration of the final message of your speech.*

*I would therefore resist the temptation to make the AI section too polished or too certain. Some of the phrases you have retained, such as “**with some trepidation**”, are valuable precisely because they acknowledge that we do not yet know where this is going.*

And your final philosophical point is, I think, particularly strong:

AI may help us regain breadth, while scientists retain responsibility for judgement.

That connects the beginning of your career story with the future you are describing, rather than making the AI section feel like a separate technology discussion. It gives the whole section a coherent intellectual arc.

Op jacht naar energie: Bacteriën buiten adem

Rede uitgesproken door
Prof. dr. Lars J.C. Jeuken

bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar
Biofysische Chemie
aan de Universiteit Leiden
op vrijdag 25 september 2026

19



**Universiteit
Leiden**

*Mevrouw de Rector Magnificus,
zeer gewaardeerde toehoorders*

Ademhaling bij bacteriën

Ik vermoed dat de meesten van ons zich nooit afvragen: hoe ademen bacteriën? Als we aan ademen denken, denken we immers aan het in- en uitademen van lucht, iets wat we met onszelf of met dieren associëren, maar zeker niet met bacteriën. In alledaagse taal is ademen het proces waarbij zuurstof ons lichaam binnenkomt en koolstofdioxide wordt verwijderd. In de biochemie heeft ademhaling, of nauwkeuriger gezegd respiratie, echter een bredere betekenis. Het beschrijft een reeks chemische reacties waarvoor zuurstof nodig is om energie te produceren. In onze eigen cellen vinden deze reacties plaats in de mitochondriën, de kleine energiecentrales die bijna alles aandrijven wat we doen. In deze biochemische betekenis 'ademen' ook bacteriën. Net als wij halen bacteriën energie uit suikers en andere voedingsstoffen. Maar bacteriën zijn veel veelzijdiger dan wij. Veel bacteriën kunnen zonder zuurstof respireren en gebruiken in plaats daarvan andere moleculen. En, zoals u later zult horen, staat deze opmerkelijke flexibiliteit centraal in mijn onderzoek en in het verhaal dat ik u vandaag wil vertellen.

Het is mijn levenswerk geweest om te bestuderen hoe bacteriën op moleculair niveau respireren.

Een groot deel van de chemie van respiratie vindt plaats in een dunne vetlaag rond de bacterie, het lipidemembraan. Dit membraan vormt de grens tussen de binnenkant van de bacterie en de buitenwereld. En het is ongelooflijk dun: slechts 4 nanometer. Dat is ongeveer 10.000 keer dunner dan een mensenhaar en ongeveer zo groot als één transistor in een moderne computerchip. In 1978, toen ik zes jaar oud was, ontving Peter Mitchell de Nobelprijs voor Scheikunde voor een theorie die hij in de jaren zestig had ontwikkeld. Zijn theorie verklaarde hoe respiratie energie produceert. Meer specifiek liet hij zien dat respiratie een elektrochemische potentiaal opwekt, oftewel een spanning, over het lipidemembraan. U kunt dit zien als een piepkleine batterij, niet zo verschillend van die in uw telefoon, die — naar ik hoop — momenteel op stil staat. Wat mij, zelfs na 30 jaar wetenschap, nog steeds versteld doet staan, is hoe opmerkelijk deze batterij is. Ze genereert een potentiaal van 0,1 tot 0,2 volt over een lipidemembraan dat slechts 4 nanometer dik is. En zodra deze kleine batterij is opgeladen, gebruikt de bacterie de opgeslagen energie om de chemische stoffen te synthetiseren die zij nodig heeft om in leven te blijven.

De chemische reacties die deze minuscule batterij opladen, vinden plaats dankzij eiwitten die in het lipidemembraan zijn ingebed. Veel van deze eiwitten bevatten metaalatomen, zoals ijzer, die

hen helpen elektronen door het membraan te transporteren. Hoewel de chemische processen anders zijn, kun je deze elektronenoverdracht zien als de stroom die de batterij oplaadt. En deze eiwitten doen meer dan alleen elektronen verplaatsen. Ze maken de chemische reacties mogelijk die nodig zijn voor de respiratie, bijvoorbeeld de reactie met zuurstof. In zekere zin is het lipidenmembraan dat de bacterie omgeeft dus niet alleen een minuscule batterij, maar bevat het ook de moleculaire mechanismen die deze opladen.

Sinds de theorie van Peter Mitchell is ons inzicht in de moleculaire mechanismen van respiratie gestaag toegenomen. Maar in de afgelopen twintig jaar is onze kennis over wat er op het niveau van afzonderlijke atomen gebeurt explosief toegenomen. In die periode zijn er tal van opwindende ontdekkingen gedaan. We kunnen de afzonderlijke eiwitcomponenten die bij de respiratie betrokken zijn isoleren en onderzoeken wat elk van deze componenten doet, soms zelfs één voor één. We kunnen de structuren van de eiwitten die bij de respiratie betrokken zijn met atomaire resolutie in kaart brengen, en we hebben veel meer inzicht gekregen in hoe deze eiwitcomponenten samenwerken, chemische reacties uitvoeren en de overdracht van elektronen mogelijk maken. Door al deze kennis te bundelen, beginnen we de fundamentele principes te ontrafelen die bepalen hoe energie in de biologie wordt opgewekt.

En juist op dit niveau, op het raakvlak tussen scheikunde, biologie en natuurkunde, speelt een groot deel van mijn onderzoek zich af.

Adamhalen zonder zuurstof

Voordat ik verder ga, wil ik eerst kort een belangrijk kenmerk van de respiratie toelichten. Wanneer we in onze cellen voedingsstoffen zoals suikers en vetten verbranden, worden deze omgezet in kooldioxide en komen er bij dat proces elektronen vrij. Deze elektronen worden vervolgens via het ademhalingssysteem getransporteerd, en de energie die daarbij vrijkomt, wordt gebruikt om een elektrochemisch potentiaal over het membraan op te wekken. In de allerlaatste stap worden de elektronen overgedragen aan de elektronenacceptor, zuurstof, die wordt omgezet in water.

Ik heb al vermeld dat bacteriën strategieën hebben ontwikkeld om zonder zuurstof te respireren. In die gevallen worden de elektronen overgedragen aan andere moleculen dan zuurstof. Respiratie was al een cruciaal biochemisch proces lang voordat er zuurstof was in de atmosfeer van de aarde. Pas toen door fotosynthese zuurstof in de atmosfeer terechtkwam, zo'n 2 miljard jaar geleden, ontwikkelde het leven het vermogen om zuurstof te gebruiken voor respiratie. Maar in omgevingen waar geen zuurstof aanwezig is, zoals slib, modder, diepe grond, de bodem van meren of zelfs in ons lichaam tijdens een infectie, gebruiken bacteriën in plaats van

zuurstof een opmerkelijke verscheidenheid aan andere moleculen. Afhankelijk van de bacteriesoort kunnen dit onder meer nitriet, nitraat, sulfaat, elementaire zwavel, ijzer, mangaan en andere metalen zijn, waaronder uranium. Sommige bacteriën kunnen zelfs andere bacteriën als elektronenacceptoren gebruiken. Ze kunnen ook arseenaat en een breed scala aan organische moleculen gebruiken, zoals fumaraat, trimethylamine-N-oxide, dimethylsulfoxide en diverse flavinen en chinonen. Sommige bacteriën gebruiken zelfs kooldioxide, waarbij ze methaan produceren, en veel bacteriën gebruiken protonen als elektronenacceptoren, waarbij ze waterstofgas produceren. Deze diversiteit is opmerkelijk, en voor elk van deze verschillende reacties is een eigen, gespecialiseerde reeks eiwitten nodig. Deze buitengewone veelzijdigheid heeft ervoor gezorgd dat de wetenschappelijke gemeenschap gefascineerd blijft door bacteriële respiratie, en ik vermoed dat dit nog vele decennia zo zal blijven.

Eén proces heeft mijn grote belangstelling gewekt: sommige bacteriën kunnen respireren met mineralen. Mineralen zoals het ijzerhoudende hematiet zijn vaste deeltjes die niet zomaar door bacteriën kunnen worden opgenomen. Ze blijven buiten de bacterie. En als de berg niet naar Mohammed kan komen, moet de respiratie naar de berg komen. De evolutie lijkt twee oplossingen voor dit probleem te hebben gevonden. In het eerste geval hebben bacteriën zogenaamde nanodraden ontwikkeld.

Dit zijn minuscule geleidende eiwitfilamenten die uit de bacterie steken, waardoor elektronen van de bacterie naar het mineraal kunnen stromen. Hoewel de chemische processen heel anders zijn, kun je het vergelijken met het gebruik van een dun draadje om een batterij aan te sluiten op bijvoorbeeld een van de Nerf-pistolen in ons laboratorium, die we af en toe gebruiken voor een schietpartij op vrijdagmiddag. De tweede aanpak is gebaseerd op het heen-en-weer vervoeren van elektronen. Bacteriën produceren en scheiden kleine moleculen uit die elektronen van de bacterie kunnen opnemen en naar het mineraal kunnen diffunderen. Daar geven ze de elektronen af en diffunderen vervolgens terug naar de bacterie, klaar om het proces te herhalen. Op deze manier kan de bacterie in feite een mineraal bereiken dat fysiek buiten het bereik van het respiratieapparaat ligt.

Ik heb ook vermeld dat sommige bacteriën kunnen respireren door elektronen te vervoeren naar andere bacteriën, en je vraagt je misschien af wat het nut is van zo'n opmerkelijk vermogen. Naarmate bacteriën groeien, vormen ze gemeenschappen die uit veel verschillende soorten bestaan. De bacteriën aan de randen van deze gemeenschappen hebben relatief makkelijk toegang tot zuurstof. Maar de bacteriën in het midden kunnen zuurstoftekort krijgen. Hier biedt het vermogen om elektronen over te dragen aan een naburige bacterie een oplossing. De ontvangende bacterie kan die

elektronen vervolgens gebruiken voor haar eigen energieopwekking.

Deze opmerkelijke eigenschappen roepen een vraag op: hoe hebben we het moleculaire mechanisme ontdekt en begrepen hoe bacteriën elektronen overdragen aan moleculen, mineralen en andere bacteriën? Om die vraag te beantwoorden zijn niet alleen nieuwe ontdekkingen nodig, maar ook nieuwe manieren om deze processen te observeren en te meten. En juist hier hebben technologische ontwikkelingen een cruciale rol gespeeld.

Nieuwe technologie bevordert de wetenschap
Wetenschappelijke vooruitgang wordt niet alleen gedreven door ontdekkingen, maar ook door technologische vooruitgang. Gedurende mijn loopbaan heb ik gezien hoe de ontwikkeling van nieuwe technologieën wetenschappelijke ontdekkingen versnelt en soms zelfs geheel nieuwe ontdekkingen mogelijk maakt. Toen ik begon als promovendus hier aan de Universiteit Leiden, kostte het me ongeveer een maand om een korte DNA-sequentie te bepalen die codeert voor een eiwit waaraan ik werkte. Vandaag, 30 jaar later, kunnen nanopore-apparaten die net iets groter zijn dan een creditcard, in 10 minuten DNA-sequenties lezen die duizenden keren langer zijn. Technologische doorbraken zoals CRISPR/Cas en cryogene elektronenmicroscopie hebben op vergelijkbare wijze een revolutie

teweeggebracht in de manier waarop we onderzoek doen en hebben wetenschappelijke ontdekkingen versneld. Dankzij nieuwe technologie in cryogene elektronenmicroscopie heeft de wetenschappelijke gemeenschap bijvoorbeeld niet alleen de atomaire structuren van afzonderlijke onderdelen van het ademhalingssysteem kunnen vaststellen, maar ook hoe deze onderdelen zijn gerangschikt en met elkaar interageren, en dat alles met een resolutie op bijna atomair niveau. Dit is van cruciaal belang om te begrijpen hoe elektronen van het ene onderdeel naar het andere worden overgedragen. En op dit moment voltrekt zich een nieuwe technologische revolutie: kunstmatige intelligentie.

Omdat ik ervan overtuigd ben dat technologische ontwikkelingen cruciaal zijn voor wetenschappelijke vooruitgang, heb ik veel energie gestoken in de ontwikkeling van een technologie die bekendstaat als bio-elektrochemie. Elektrochemie meet de beweging van elektronen, wat in de eenvoudigste vorm wordt gemeten als een elektrische stroom. Bij bio-elektrochemie wordt een ademhalings-eiwit gebonden aan een geleidend oppervlak, een zogenaamde elektrode. In plaats van elektronen uit te wisselen met andere eiwitten van het ademhalingssysteem, kan het eiwit worden gestimuleerd om elektronen over te dragen aan, of elektronen op te nemen van, deze

elektrode. De gemeten elektrische stroom is dan een directe weergave van de activiteit van het eiwit. Omdat de eiwitten waaruit de moleculaire mechanismen van de ademhaling bestaan vaak ingebed zijn in het lipidemembraan – die 4 nanometer dunne laag rondom de bacteriën – is het bijzonder lastig om ze met behulp van bio-elektrochemie te bestuderen. Het ontwikkelen van de vaardigheden en technologie die nodig zijn om met behulp van bio-elektrochemie de eiwitten te bestuderen van de ademhalingsketen in het lipidemembraan, is een bepalend onderdeel geweest van mijn wetenschappelijke loopbaan.

Deze reis begon met het onderzoek naar een eiwit, azurin genaamd, tijdens mijn promotieonderzoek hier in Leiden, onder begeleiding van mijn promotor, professor Gerard Canters. Azurin functioneert in het overdragen van elektronen in de ademhalingsketen van een bacterie. Na mijn promotie ben ik naar het laboratorium van professor Fraser Armstrong in Oxford verhuisd om de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van bio-elektrochemie te leren. Daar stelde ik mijn volgende uitdaging vast: hoe kunnen we een 4 nanometer dik lipidemembraan, samen met het bijbehorende ademhalingsketen, zodanig aan een elektrode bevestigen dat we de elektronenoverdracht kunnen bestuderen? Om dit probleem op te lossen, verhuisde ik naar Leeds, waar de professoren Richard Bushby en Stephan Evans mij geduldig de principes en de praktijk van de oppervlaktewetenschap bijbrachten.

De technologie die ik in Leeds heb ontwikkeld, heeft bijgedragen aan ons inzicht in de manier waarop de evolutie de ademhalingsketen van bacteriën heeft geoptimaliseerd. We konden onderzoeken hoe afzonderlijke ademhalingseiwitten elektronen overdragen en hoe dit proces gekoppeld is aan het ontstaan van een elektrochemisch potentiaal over het lipidemembraan. Bij één eiwit, een terminale oxidase die elektronen aan zuurstof overdraagt, ontdekten we iets onverwachts. Toen we dit terminale oxidase op het niveau van afzonderlijke moleculen bestudeerden – één eiwit tegelijk – ontdekten we dat het eiwit soms vastloopt en zijn activiteit stopt. Nog verrassender is dat het terminale oxidase in zeldzame gevallen een alternatieve route lijkt te volgen. In plaats van een elektrochemisch potentiaal te genereren, verspilt het de energie. Deze resultaten blijven omstreden, en niet al mijn collega's zijn het eens dat dit eiwit zich in zeldzame gevallen op deze manier kan gedragen.

Een ander eiwit dat we hebben onderzocht, onttrekt elektronen aan waterstofgas, waardoor bacteriën waterstof als brandstof kunnen gebruiken. Deze eiwitten staan bekend als hydrogenasen. Het was al bekend dat een bepaalde groep zuurstofbestendige hydrogenasen in aanwezigheid van zuurstof hun activiteit staken om nevenreacties te voorkomen die het eiwit kunnen beschadigen. Onze experimenten hebben bijgedragen aan ons

inzicht in hoe deze hydrogenasen nauwkeurig zijn afgestemd. Ze blijven functioneren in aanwezigheid van waterstof, zelfs als er wat zuurstof aanwezig is, maar worden door zuurstof uitgeschakeld wanneer er geen waterstof is. Met andere woorden: het eiwit is evolutionair geoptimaliseerd om een evenwicht te vinden tussen het gebruik van waterstof als brandstof voor de bacterie en de bescherming tegen schade door zuurstof. Interessant genoeg hebben collega's op dit gebied aangetoond dat de uitschakelaar zich bevindt in een elektronenoverdrachtsketen van het eiwit. Het werkt ongeveer zoals het uitschakelen van een lamp door de verbinding in de elektriciteitsdraad te verbreken.

Bacteriële ademhaling en energieopwekking

Tot nu toe heb ik het gehad over onze zoektocht naar kennis, gedreven door nieuwsgierigheid. Maar de respiratie van bacteriën heeft wetenschappers ook geïnspireerd om na te denken over hoe we duurzamere energietechnologieën zouden kunnen ontwikkelen. Neem bijvoorbeeld waterstofgas. Waterstof wordt al lang aangeprezen als een schone brandstof, omdat er bij de opwekking van energie alleen water ontstaat. Het bevat bovendien een zeer grote hoeveelheid energie per kilogram, waardoor het een aantrekkelijke energiedrager is. Tegenwoordig wordt het grootste deel van de wereldwijd geproduceerde waterstof echter nog steeds vervaardigd uit

fossiele brandstoffen en is het daarom geen groene brandstof. Waterstof kan in plaats daarvan worden geproduceerd uit water door middel van elektrolyse, waarbij elektriciteit uit hernieuwbare bronnen kan worden gebruikt. Wat bacteriële hydrogenasen bijzonder interessant maakt, is dat deze enzymen waterstof kunnen produceren of verbruiken met snelheden die vergelijkbaar zijn met, en in sommige gevallen zelfs hoger liggen dan, die van platina, de maatstaf die in veel industriële technologieën wordt gehanteerd. Opmerkelijk genoeg kunnen sommige bacteriën zelfs de minuscule hoeveelheden waterstof die van nature in onze atmosfeer aanwezig zijn, als energiebron gebruiken. Hydrogenasen laten ons dus zien wat er mogelijk is. Op dit moment hebben ze echter ook belangrijke beperkingen. Zoals ik net heb vermeldt, worden veel hydrogenasen door zuurstof beschadigd of uitgeschakeld. Verder blijft het produceren en integreren van deze eiwitten in technologieën op industriële schaal te kostbaar. Niettemin beginnen de vorderingen van collega's een aantal van deze uitdagingen aan te pakken, en ik kijk uit naar een toekomst waarin de opmerkelijke chemie van hydrogenasen kan bijdragen aan duurzame energietechnologieën.

Onlangs hebben collega's en ik onderzocht hoe hydrogenasen zouden kunnen worden ingezet bij kunstmatige fotosynthese. Natuurlijke fotosynthese fascineert wetenschappers al eeuwenlang. Groene planten gebruiken zonlicht,

water, kooldioxide en mineralen om suikers en andere vormen van biomassa te produceren. We kunnen biomassa gebruiken als energiebron, bijvoorbeeld door hout te verbranden of gewassen om te zetten in biodiesel. Er is echter een voor de hand liggende beperking: het gebruik van grote hoeveelheden gewassen of andere biomassa voor energie kan ten koste gaan van de voedselproductie. Daarnaast is er nog een meer fundamentele beperking. De totale efficiëntie waarmee zonlicht wordt omgezet in biomassa is relatief laag. Moderne commerciële zonnepanelen zetten ongeveer 24% van het invallende zonlicht om in elektriciteit, en wanneer die elektriciteit wordt gebruikt om een elektrische auto aan te drijven, kan ongeveer 5% van de oorspronkelijke zonne-energie worden omgezet in beweging. Ter vergelijking: wanneer zonlicht eerst wordt omgezet in een brandstof zoals biodiesel op basis van maïs, kan het totale rendement ongeveer twee ordes van grootte lager liggen, namelijk onder de 0,05%. Dit roept de vraag op: kunnen we leren van de opmerkelijke chemie van de fotosynthese, maar tegelijkertijd een directere en efficiëntere manier vinden om zonlicht om te zetten in brandstof?

Bij kunstmatige fotosynthese streven we ernaar zonlicht rechtstreeks om te zetten in brandstoffen zoals waterstof, met als uiteindelijk doel het proces efficiënter te maken. Hoewel natuurlijke fotosynthese niet bijzonder efficiënt is in het produceren van

brandstoffen voor menselijk gebruik, heeft de evolutie veel afzonderlijke stappen van het proces in buitengewone mate geoptimaliseerd. We proberen van deze principes te leren en sommige ervan na te bootsen in kunstmatige systemen. Een van de uitgangspunten is dat de natuur niet alle chemische reacties van de fotosynthese op één plek laat plaatsvinden. In plaats daarvan vinden verschillende reacties plaats in verschillende minuscule compartimenten binnen het chloroplast, waardoor elke stap kan verlopen onder de omstandigheden die daarvoor het meest geschikt zijn. We hebben ons door dit idee laten inspireren bij het ontwerpen van kunstmatige compartimenten, waarbij we de stabiliteit ervan hebben verbeterd door biologische lipiden te mengen met synthetische polymeren. We hebben compartimenten gemaakt met hydrogenasen en eiwitten uit het ademhalingssysteem, en deze gecombineerd met halfgeleider-nanodeeltjes – materialen die enkele van dezelfde lichtopvangende eigenschappen hebben als de materialen in zonnepanelen. Wanneer we onze compartimenten belichten, produceren ze waterstof. Hun rendement is nog steeds erg laag, bijna nul, dus dit zijn zeker nog geen technologieën die kunnen concurreren met zonnepanelen of industriële waterstofproductie. Maar dat is ook niet het doel van deze verkennende systemen. Het zijn experimentele platforms waarmee we kunnen ontdekken welke principes van natuurlijke fotosynthese belangrijk zijn, en wat er nodig zou zijn om die

in een kunstmatig systeem na te bootsen. Op deze manier willen we inzicht krijgen in hoe we op een dag zonlicht op een efficiëntere manier kunnen omzetten in duurzame brandstoffen.

Biohybriden

Eerder heb ik uitgelegd dat sommige bacteriën kunnen ademen op minerale deeltjes buiten de bacterie. Ze zetten voedingsstoffen zoals suikers en vetten om en geven daarbij elektronen vrij die naar buiten worden getransporteerd. We kunnen dit natuurlijke proces gebruiken om rechtstreeks elektriciteit op te wekken. Als bacteriën worden gekweekt op een geleidend materiaal, zoals een elektrode, kunnen ze hun elektronen naar de elektrode overbrengen in plaats van naar een mineraal. Deze systemen staan bekend als microbiële brandstofcellen. Ze wekken kleine hoeveelheden elektriciteit op, maar dit kan van pas komen in situaties waarin zelfs een kleine, continue stroombron van waarde is, bijvoorbeeld voor sensoren in afgelegen omgevingen zoals de oceaanbodem.

Maar er is nog een opmerkelijkere mogelijkheid. Als bacteriën elektronen naar een elektrode kunnen overbrengen om elektriciteit op te wekken, kunnen we dat proces dan omkeren en elektronen aan de bacteriën geven? Het antwoord is ja. We kunnen die elektronen gebruiken om chemische reacties op gang te brengen en bacteriën in staat te stellen nuttige chemicaliën en brandstoffen te produceren. Een

nog intrigerendere aanpak is om bacteriën te combineren met halfgeleider-nanodeeltjes. Deze nanodeeltjes kunnen als minuscule zonnepanelen fungeren wanneer ze zich aan het oppervlak van de bacterie hechten. Wanneer er licht op de nanodeeltjes valt, genereren ze energetische elektronen, die vervolgens naar de bacterie kunnen worden overgedragen. Op deze manier kan licht de energie leveren die nodig is om bacteriële chemische reacties op gang te brengen. Op basis van wat we hebben geleerd over het ademhalingssysteem van bacteriën, ontwikkelen mijn collega's en ik nieuwe manieren om halfgeleider-nanodeeltjes aan bacteriële cellen te koppelen, zodat elektronen efficiënt kunnen worden overgedragen van het lichtopvangende materiaal naar de bacterie. De technologie staat nog in de kinderschoenen en er zijn nog tal van wetenschappelijke en technische uitdagingen. Wat ik vooral boeiend vind, is het principe: we kunnen de chemische eigenschappen die de evolutie in levende cellen heeft geoptimaliseerd, koppelen aan door mensen ontworpen anorganische materialen. Ik vind het vooruitzicht van deze 'biohybride' bacteriële systemen – deels levende cel en deels halfgeleider – enorm inspirerend.

Bacteriële ademhaling en antibiotica

Een heel andere mogelijke toepassing van onze kennis over bacteriële ademhaling ligt in de gezondheidszorg. De overgrote meerderheid van de bacteriën in onze omgeving is onschadelijk

of zelfs essentieel voor ons voortbestaan. Maar sommige bacteriesoorten kunnen ziekmakende en levensbedreigende infecties veroorzaken. De ontdekking van antibiotica was een van de grootste doorbraken in de moderne geneeskunde, en volgens schattingen hebben ze honderden miljoenen, misschien wel meer dan een miljard, levens gered. Zonder antibiotica zouden zelfs routineoperaties levensbedreigend kunnen worden, en zouden infecties als gevolg van een kleine wond opnieuw moeilijk of onmogelijk te behandelen zijn. Maar dit succes heeft een prijs gehad. Het wijdverbreide gebruik van antibiotica in de gezondheidszorg en de landbouw heeft een sterke evolutionaire druk op bacteriën veroorzaakt om resistent te worden. De Wereldgezondheidsorganisatie schat dat antimicrobiële resistentie bij bacteriën alleen al in 2019 direct verantwoordelijk was voor 1,3 miljoen sterfgevallen. Zonder doeltreffende maatregelen om resistentie te voorkomen en te behandelen, zal dit aantal naar verwachting aanzienlijk toenemen. Tuberculose, of tbc, is hiervan een ontnuchterend voorbeeld. Tbc wordt veroorzaakt door een bacteriële infectie die meestal de longen aantast en moeilijk te behandelen is. Een conventionele behandeling kan tot negen maanden duren en kan serieuze bijwerkingen hebben. Tbc eist wereldwijd nog steeds meer dan een miljoen slachtoffers per jaar, en de bacteriën die de ziekte veroorzaken, worden steeds resistenter tegen antibiotica. In 2024 liepen naar schatting 390.000 mensen resistente tbc op. De

oplossing zal veelzijdig moeten zijn en onder meer bestaan uit een zorgvuldiger en gericht gebruik van antibiotica, betere diagnostiek en nieuwe behandelingen.

Het ontdekken van nieuwe klassen antibiotica zal een belangrijk onderdeel van de oplossing vormen. Nu we meer inzicht hebben in de ademhaling van bacteriën, rijst de vraag: kunnen we bacteriële infecties behandelen door de bacteriële energieopwekking te verstoren? Ongeveer 15 jaar geleden werd een nieuw antibioticum tegen tbc, bedaquiline genaamd, goedgekeurd. Bedaquiline stopt niet de respiratie, maar blokkeert het mechanisme dat het elektrochemische potentiaal over het bacteriële membraan gebruikt om een chemische stof te produceren die centraal staat in de bio-energetica en de energietransductie bij tbc, waardoor de bacteriën uiteindelijk afsterven. Vlak voor de COVID-pandemie bracht ik vijf weken door aan de Universiteit van Otago in Nieuw-Zeeland, in het laboratorium van professor Gregory Cook, om meer te leren over hoe we de bacteriële respiratie zouden kunnen verstoren. Het bezoek was in vele opzichten inspirerend, van het prachtige landschap in het zuiden van Nieuw-Zeeland tot de stimulerende onderzoeksomgeving in het laboratorium. Maar wat nog belangrijker is: het leidde tot een nieuwe richting in mijn onderzoek. We bestuderen nu op moleculair niveau de respiratie van bacteriën die ziekten zoals tbc en listeriose veroorzaken. Onze visie is om in de

toekomst bij te dragen aan de ontwikkeling van nieuwe antibiotica. En ondertussen blijven we gefascineerd door de buitengewone strategieën die de evolutie heeft ontwikkeld om bacteriën in staat te stellen te respireren.

Van multidisciplinaire wetenschap naar het tijdperk van AI

Gedurende mijn loopbaan heb ik me laten leiden door de overtuiging dat belangrijke wetenschappelijke doorbraken vaak voortkomen uit een multi-, inter- en transdisciplinaire aanpak, waarbij kennis en vaardigheden uit verschillende wetenschappelijke disciplines worden gebundeld – soms binnen één enkel laboratorium – om wetenschappelijke vraagstukken aan te pakken. Ik heb daarom altijd een diepgewortelde interesse gehad in een breed scala aan wetenschappelijke disciplines, van biochemie tot biofysica. Mijn groep heeft zich beziggehouden met bio-energetica, bio-elektrochemie, bio-anorganische chemie, hybride anorganisch-organische materialen, biofysica van zachte materie en biosensoren. Elk van deze vakgebieden heeft zijn eigen wetenschappelijke literatuur, zijn eigen gemeenschap en zijn eigen gespecialiseerde congressen. Maar, zoals u wellicht begrijpt, heb ik moeite gehad om op de hoogte te blijven van de wetenschappelijke vooruitgang op al deze gebieden.

In de populairwetenschappelijke literatuur wordt Thomas Young vaak genoemd als de laatste

polymath: „de laatste man die alles wist”. Thomas Young stierf bijna 200 jaar geleden. Sindsdien is de wereldbevolking gegroeid, hebben economieën zich ontwikkeld, en zijn ook de wetenschappelijke gemeenschap en haar uitkomsten en productie gegroeid. Het aantal wetenschappelijke publicaties is exponentieel toegenomen, met een gemiddeld tempo van ongeveer 4% per jaar, wat neerkomt op een verdubbeling van het aantal jaarlijkse publicaties om de 17 jaar. Door deze voortdurende groei van de wetenschappelijke publicaties en de toenemende complexiteit van afzonderlijke onderzoeksgebieden is het voor een individuele wetenschapper moeilijk geworden om op de hoogte te blijven van meer dan één specifiek wetenschapsgebied. In schril contrast met de polymath Thomas Young heeft dit geleid tot een toenemende specialisatie, waardoor de expertise van wetenschappers zich steeds meer op smallere wetenschapsgebieden is gaan richten. In dit verband kijk ik vol verwachting uit naar een toekomst waarin kunstmatige intelligentie, of AI, ons zou kunnen helpen om op de hoogte te blijven van de bredere wetenschappelijke literatuur.

We hebben allemaal wel eens gehoord, of misschien zelfs zelf ervaren, dat antwoorden van AI kan genereren die overtuigend klinken maar gewoonweg onjuist zijn, een fenomeen dat doorgaans ‘hallucinatie’ wordt genoemd. Toch is AI buitengewoon krachtig in het verwerken van

grote hoeveelheden informatie en, wat cruciaal is, in het ontfangen van statistische patronen en representaties uit gegevens. Ik voorspel dat AI-gereedschap, mits correct gebruikt, ons zullen helpen bij het doorzoeken, samenvatten en in context plaatsen van wetenschappelijke literatuur. AI kan hiermee een belangrijke *toegangspoort* tot de bredere wetenschappelijke literatuur worden, ook al kunnen we er niet op vertrouwen dat AI de nauwkeurigheid van experimenten of de wetenschappelijke validiteit juist beoordelen. Ik hoop dat AI ons zal helpen om de wetenschappelijke vooruitgang binnen bredere disciplines samen te vatten, waardoor wetenschappers meer tijd krijgen om die vooruitgang te interpreteren, te anticiperen op de implicaties ervan en te beslissen welke vragen en onderzoeksstrategieën in de toekomst moeten worden nagestreefd.

Op dit punt is het belangrijk om een onderscheid te maken tussen algemene AI en gespecialiseerde AI. Gespecialiseerde AI is geoptimaliseerd voor specifieke wetenschappelijke taken, vaak door wetenschappers die AI combineren met kennis in een discipline en experimentele gegevens om relevante biologische of fysische verbanden in kaart te brengen. Door AI binnen een wetenschappelijk kader te houden, kunnen deze tools betrouwbaarder worden. De impact van gespecialiseerde AI-tools zoals AlphaFold en BindCraft is nu al enorm. Hoewel deze tools nog niet foutloos zijn, maken ze gebruik

van uitgebreide experimentele gegevens om voorspellingen te doen die experimenteel kunnen worden getoetst – iets wat enkele jaren geleden nog uiterst moeilijk zou zijn geweest. AlphaFold, waarvan de ontwikkelaars, Demis Hassabis en John Jumper, de helft van de Nobelprijs voor Scheikunde van 2024 hebben gedeeld, voorspelt de driedimensionale structuren van eiwitten. BindCraft maakt gebruik van AI-gereedschap zoals AlphaFold om eiwitten te ontwerpen die zich aan andere eiwitten binden. Het belang van deze nieuwe tools kan niet genoeg worden benadrukt. Ze helpen ons niet alleen om bestaande kennis te ordenen, maar ook om nieuwe hypothesen te formuleren en eiwitten te ontwerpen die voorheen niet bestonden. Onze gemeenschap heeft zich zeer snel aan dit AI-gereedschap aangepast en gebruikt deze om voorspellingen te doen op gebieden zoals biochemie en structuurbiologie, en om het ontwerp van experimenten te sturen.

Met AI zou de wetenschappelijke aanpak zelf uiteindelijk kunnen veranderen, en misschien zelfs verbeteren. Naarmate de wetenschappelijke productiviteit toeneemt, worden wetenschappers, waaronder ikzelf, gedwongen zich sterk te specialiseren, terwijl we tegelijkertijd onze samenwerkingsnetwerken uitbreiden om de breedte aan expertise te behouden die multidisciplinair onderzoek vereist. Samenwerking blijft essentieel voor de benodigde expertise uit verschillende disciplines,

maar AI kan ons helpen om als individuele wetenschappers weer een deel van de breedte van de wetenschap terug te winnen. Tegelijkertijd zullen gespecialiseerde AI-gereedschappen onze experimentele benaderingen en het formuleren van nieuwe hypothesen in toenemende mate ondersteunen, terwijl de essentiële taken van kritische evaluatie, experimentele validatie en het vaststellen van de onderzoeksstrategie aan de wetenschappers blijft.

Dank

Zonder een ongelooflijk groot aantal bijzondere vrienden, familieleden, collega's, mentoren en leidinggevers zou mijn carrière nooit mogelijk zijn geweest. Mijn interesse in eiwitbiochemie begon met twee onderzoeksprojecten tijdens mijn bacheloropleiding aan de Universiteit Utrecht, waarbij ik me bezighield met bacteriële membranen en eiwitstructuren. Ik ben die onderzoeksgroepen dankbaar dat ze mij al in een vroeg stadium hebben geïnspireerd en mij de weg naar een academische carrière hebben gewezen. Ik ben prof. Gerard Canters dankbaar dat hij mij de kans heeft gegeven om te promoveren, ook al was ik totaal niet goed voorbereid op het sollicitatiegesprek. Mijn promotietraject viel samen met een buitengewoon stressvolle en veeleisende periode in mijn privéleven, wat leidde tot onregelmatige werktijden, soms slaapgebrek en gedrag dat af en toe misschien egocentrisch of afstandelijk overkwam. Gerard, je hebt het geduld gehad om me door het promotietraject

heen te begeleiden. Die jaren hebben me geleerd hoe waardevol internationale samenwerking is en hoe fijn het is om deel uit te maken van een hechte onderzoeksgroep. Dit heeft in grote mate de basis gelegd voor de wetenschapper die ik nu ben.

Ik ben ook prof. Fraser Armstrong en alle leden van zijn onderzoeksgroep dankbaar dat ze mij hebben laten kennismaken met de bio-elektrochemie van eiwitten, een techniek die ik gedurende mijn hele academische loopbaan op grote schaal heb toegepast. Ik herinner me nog goed hoeveel plezier we hadden, zowel in als buiten het laboratorium, soms op onredelijke uren, en de onderzoeksresultaten die daaruit voortkwamen. Veel mensen uit het Armstrong-lab zijn later in de academische wereld terechtgekomen en zijn gaandeweg collega's, samenwerkingspartners, vrienden en zelfs mijn getuige geworden toen ik trouwde. Sommigen van jullie zijn hier vandaag aanwezig, en ik ben bijzonder blij dat jullie zowel in mijn academische als in mijn persoonlijke leven een rol zijn blijven spelen.

Mijn overstap naar een carrière als onafhankelijk onderzoeker zou niet mogelijk zijn geweest zonder de hulp en begeleiding van de professoren Bushby, Evans en Henderson van de Universiteit van Leeds. Zij stonden altijd klaar om hun inzichten en materiaal met mij te delen en mij in hun laboratoria te verwelkomen. Hoewel mijn

ervaring met de universiteit zelf niet altijd even soepel verliep, heeft de voortdurende steun van mijn collega's in Leeds ervoor gezorgd dat mijn onderzoek tot bloei kon komen en dat ik zo'n fijne tijd in Leeds heb gehad. Ik ben hen eeuwig dankbaar.

Door mijn werk in de multidisciplinaire wetenschap heb ik het voorrecht gehad om samen te werken met collega's over de hele wereld. Ik ben al mijn samenwerkingspartners veel dank verschuldigd voor de expertise die zij in mijn onderzoek hebben ingebracht, waardoor mijn groep wetenschappelijke vraagstukken vanuit veel verschillende invalshoeken heeft kunnen benaderen. Zonder deze ondersteunende gemeenschap zou mijn onderzoek simpelweg niet mogelijk zijn geweest. Ik wil in het bijzonder mijn dank betuigen aan mijn samenwerkingspartners waarmee ik al vele jaren heb gewerkt, de professoren Butt, Reisner, Walti, Beales en, meer recentelijk, Mulvihill en Slotboom, die allen een grote invloed hebben gehad op de richting en strategie van mijn onderzoek.

Ik ben ook zeer dankbaar voor de organisatorische en technische ondersteuning die ik heb gekregen aan zowel de Universiteit van Leeds als de Universiteit van Leiden. Wetenschap en universiteiten kunnen simpelweg niet functioneren zonder de voortdurende inzet van de mensen die achter de schermen onderzoek

mogelijk maken en technische ondersteuning bieden in de laboratoria. Misschien heb ik deze bijdragen in het verleden niet voldoende erkend, maar ik wil deze gelegenheid aangrijpen om te zeggen hoezeer ik ze waardeer. Met name in Leiden heb ik het geluk gehad om een buitengewoon ondersteunende omgeving te ervaren, waarin collega's van over de hele universiteit er steeds weer voor hebben gezorgd dat alles soepel verliep en mij de vrijheid en praktische ondersteuning hebben geboden om mijn onderzoeksgroep op te bouwen. Deze steun heeft echt het verschil gemaakt voor wat we in relatief korte tijd hebben kunnen bereiken.

Maar bovenal wil ik mijn promovendi en postdocs bedanken. Jullie zijn degenen die het wetenschappelijke werk daadwerkelijk doen. Jullie brengen lange dagen door in het laboratorium, voeren de experimenten uit, lossen problemen op wanneer er onvermijdelijk iets misgaat, en – het allerbelangrijkste – komen met de ideeën en observaties die ons onderzoek vooruithelpen. Ik mag dan wel de koers uitzetten en helpen bij het schrijven van artikelen, maar ik breng veel te veel tijd door achter een computer; het is dankzij jullie dat de wetenschap daadwerkelijk tot stand komt. Welke prestaties ik ook op mijn naam mag schrijven, ze zijn voor een groot deel een weerspiegeling van jullie werk, creativiteit en toewijding. Het was voor mij een van de grootste voorrechten om te mogen zien hoe jullie je hebben ontwikkeld tot zelfstandige

wetenschappers. Jullie hebben niet alleen mijn onderzoek mogelijk gemaakt; jullie vormen de volgende generatie wetenschappers die de toekomst van ons vakgebied zullen vormgeven. Ik ben enorm trots op wat jullie hebben bereikt en ben jullie zeer dankbaar dat ik een kleine rol heb mogen spelen in jullie loopbaan. Andreas, Nikolaos, James, Sophia, Lukasz, Rachel (Qingshan), Joe (Joseph), Duncan, Theo, Ee Teak, Vlad, Mengqiu, Anna en Anna, George, Ievgen, Matthias, Hope, Tim, Huijie, Emma, Rosa, Valentin, Britt, Tijn, Imogen, Max, Inês en Jingjing: Ik ben jullie dankbaar voor jullie harde werk, jullie ideeën, jullie doorzettingsvermogen en voor het feit dat jullie wetenschap altijd interessant, uitdagend en de moeite waard maken.

Nu richt ik mij tot mijn vrienden en familie. Dit is waarschijnlijk het deel van de toespraak dat ik het moeilijkst vind, omdat zoveel mensen mij door de jaren heen steun, vriendschap en liefde hebben gegeven. Ik begin met iets wat misschien wat ongebruikelijk is: taekwon-do. Het was een nogal willekeurige beslissing om op mijn zestiende met taekwon-do te beginnen, maar het heeft mij mijn hele academische en persoonlijke leven lang gesteund. Waar ik ook heb gewoond, ik heb het geluk gehad uitstekende taekwondoscholen te vinden die mij zowel fysiek als mentaal hebben ondersteund. Ik heb ook het voorrecht gehad les te krijgen van vele inspirerende instructeurs: Sasung Tjin-A-Ton,

Sabum Tjon A Pauw, Sasung Miller, Sabum Thackray, Sabum Chan en Sahyun Zandbergen. De vijf grondbeginselen van Taekwondo zijn Hoffelijkheid, Integriteit, Doorzettingsvermogen, Zelfbeheersing en een Onoverwinnelijke Geest. Ik heb gemerkt dat deze waarden ook opmerkelijk goed van toepassing zijn op de academische wetenschap: *Hoffelijkheid* jegens de reviewer die mijn artikel – alweer – afwijst; *Integriteit* bij het interpreteren en communiceren van gegevens, ongeacht de druk om in toonaangevende tijdschriften te publiceren; *Doorzettingsvermogen* bij de onvermijdelijke tegenslagen; *Zelfbeheersing* wanneer reviewers te kritisch zijn over mijn subsidieaanvraag – alweer; en ten slotte een *Onoverwinnelijke Geest*, wat misschien wel het allerbelangrijkste is bij het nastreven van een wetenschappelijke carrière.

Vrienden die mij al lang kennen, weten wellicht dat mijn studie en het begin van mijn carrière samengingen met bepaalde uitdagingen in mijn privéleven. Jullie zijn er altijd geweest om me te steunen wanneer dat nodig was. Doordat ik meerdere keren van stad en land ben verhuisd, heb ik onderweg ook het geluk gehad veel nieuwe vrienden te maken, en sommigen van jullie hebben een lange reis gemaakt om hier te zijn. Aan al mijn vrienden, zowel nieuwe als oude: bedankt voor jullie voortdurende steun.

Alan, Madelief, Cees en Calum. Het is niet ongebruikelijk dat kinderen die opgroeien in een

academisch gezin kleine offers moeten brengen, maar ik ben ontzettend trots op de veerkracht die jullie hebben getoond. Een van de favoriete anekdotes van ons gezin speelt zich af tijdens een feest toen we in Leeds woonde. Prof. Meldrum, een vooraanstaand hoogleraar in de anorganische scheikunde, kwam met mijn zoon, toen drie jaar oud, de kamer binnen. Prof. Meldrum, enigszins verbaasd, vroeg hardop: „Wie is de vader van dit kind?”. Nadat ik had toegegeven dat ik de vader was, en me zorgen maakte dat mijn zoon misschien iets duurs had gebroken, antwoorde prof. Meldrum luid en duidelijk: „Je zoon zegt dat zijn vader op zijn werk woont”.

Alan, je bent op jonge leeftijd van Nederland naar Oxford verhuisd, daarna weer terug naar Nederland en vervolgens naar Leeds. Meerdere keren van vrienden en scholen veranderen is niet makkelijk, en ik kon er niet altijd voor je zijn. Ik ben ontzettend trots op de veerkracht die je hebt getoond en op de manier waarop je vervolgens met succes een doctoraat in de scheikunde hebt behaald. Madelief, Cees en Calum, ook voor jullie heeft de wetenschap een rol gespeeld in jullie leven. Vijf jaar geleden zijn we naar Nederland verhuisd, waarbij we vrienden achterlieten en je de middelbare school voortzette in een taal die je nog niet goed sprak. Je bent na de verhuizing naar Nederland helemaal tot bloei gekomen en hebt je diploma's behaald, wat een opmerkelijke prestatie is. Je hebt je plek in de wereld gevonden en geniet van je studie, sport en lezen. Dit toont

aan hoe veerkrachtig je bent en hoe je het leven omarmt. Dank je wel.

En tot slot, Ishbel. Ik zal nooit begrijpen hoe ik zo'n geluk heb kunnen hebben. Je kwam in mijn leven tijdens een moeilijke periode en je hebt me weer op de rails gekregen. Je bent mijn rots in de branding. Je steunt me als ik belachelijke werktijden heb, helpt me te ontspannen als mij dat zelf niet lukt, trapt me hard op het hoofd bij taekwondo, en bent met me meegegaan naar Leeds en daarna naar Leiden. Je begrijpt me intuïtief als ik midden in een gesprek plotseling stilval en voor me uit staar. Je merkt gewoon wanneer mijn gedachten afdwalen en ik weer aan wetenschap zit te denken, en daarna zeg je steeds weer tegen me: „Je luistert nooit.” Wetenschap geeft me inspiratie en een doel, maar jij geeft me betekenis, geluk en een manier om van dit alles te genieten.

Ik heb gezegd



PROF. DR. LARS J.C. JEUKEN

EDUCATION

2001 | **PhD**
1996 | **Graduate**

Leiden Institute of Chemistry | Leiden University | NL
Biology | Utrecht University | NL

EXPERIENCE

2021 | **Professor**
2017 | **Professor**
2011 | **Reader**
2007 | **Senior Lecturer**
2002 | **Research Fellow**
1999 | **Post-doc Fellow**

Leiden Institute of Chemistry | Leiden University | NL
School of Biomedical Sciences | University of Leeds | UK
School of Biomedical Sciences | University of Leeds | UK
School of Biomedical Sciences | University of Leeds | UK
School of Physics & Astronomy | University of Leeds | UK
Inorganic Chemistry Laboratory | University of Oxford | UK

AWARDS and FELLOWSHIPS

2012 | **ERC**
2006 | **Investigator Award**
2002 | **BBSRC**

Starting Grant Fellowship (Consolidator)
Young Investigator Award | British Biophysical Society
David Phillips Fellowship

COMMITTEES, VISITING SCHOLARSHIPS

2026 | Torino
2024 - | NWO
2024 - | IChF

Visiting Professorship | University of Torino | IT
NWO Vidi Panel Member (Chemistry) | NL
International Advisory Board | Inst. Physical Chemistry of the
Polish Academy of Sciences | PL

2019 | Otago
2014 - 2020 | BBSRC

Visiting Researcher | University of Otago | NZ
BBSRC Committee D Panel Member (Molecules, cells and
industrial biotechnology)