



Es gibt Branchen, die den Folgen des Irankriegs etwas Positives abgewinnen können. Etwa die Produzenten von ökologischem Dünger, zu denen das kalifornische Start-up Nitricity zählt. Die monatelange Schließung der Straße von Hormus hat zu globalen Lieferengpässen beim weitverbreiteten Stickstoffdünger geführt, der aus Erdgas in riesigen Anlagen am Persischen Golf produziert wird.

Jetzt stehen alternative Anbieter plötzlich im Fokus. Nitricity produziert Dünger auf Basis von Mandelschalen. „Die Düngemittelproduktion hat sich seit über einem Jahrhundert nicht verändert – komplex, teuer und anfällig für globale Lieferchocks“, sagt Rajesh Swaminathan, Partner beim US-Risikokapitalgeber Khosla Ventures, der Nitricity maßgeblich finanziert.

Diese Anfälligkeit ist nicht das einzige Problem des Stickstoffdüngers. Produktion und Einsatz in der Landwirtschaft weltweit setzen enorme Mengen Kohlendioxid (CO₂) frei. Schätzungen zufolge entfallen rund fünf Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen auf Düngung, die Hälfte davon allein auf Stickstoff. „Das ist vergleichbar mit anderen emissionsintensiven Branchen wie der Zementindustrie oder der Luftfahrt“, sagt James Lazenby, Analyst bei der Denkfabrik Future Cleantech Architects (FCA) aus Remscheid. Start-ups und große Firmen suchen nach Alternativen und neuen, klimaschonenden Verfahren, doch sie stoßen auf eine hohe Hürde.

Nach Angaben des internationalen Fertilizer-Verbands werden allein von dem am häufigsten eingesetzten Stickstoffdünger weltweit jährlich etwa 120 Millionen Tonnen verbraucht. Dabei handelt es sich um künstlich hergestellte Pflanzennährstoffe auf Basis von Luft und Erdgas. Schätzungen der Universität Oxford zufolge sichert Stickstoffdünger die Ernährung von annähernd der Hälfte der Weltbevölkerung. Die auf

den Feldern ausgebrachten Nährstoffe sind entscheidend für Wachstum und Ertrag der Pflanzen und damit die „Achillesferse“ der Landwirtschaft, unterstreicht der Deutsche Bauernverband.

Stickstoffdünger wird mit einer Technologie hergestellt, die vor mehr als 100 Jahren in Deutschland erfunden wurde: Beim Haber-Bosch-Verfahren wird aus Erdgas Wasserstoff gewonnen und dann Stickstoff aus der Luft gezogen. Es entsteht Ammoniak, der Basisstoff für Dünger. Nahezu 90 Prozent der dafür benötigten Ressourcen entfallen auf Erdgas. Deswegen kann Ammoniak dort billig hergestellt werden, wo es reichlich preiswerte fossile Energie gibt. Das erklärt den hohen Anteil der Golfregion an der weltweit produzierten Menge, der auf 30 Prozent geschätzt wird.

Durch die Sperrung der Straße von Hormus stand diese Menge ab März auf

dem Düngerweltmarkt plötzlich nicht mehr zur Verfügung. Die Preise schnellten hoch, in einzelnen Regionen Asiens und Afrikas werden Ernteausfälle infolge einer Düngerknappheit befürchtet. Die Agrarorganisation der Vereinten Nationen befürchtet, dass sich der Druck auf die Ernten bis ins Jahr 2027 hinziehen könnte.

Der hohe Einsatz von Erdgas und der CO₂-Ausstoß erklären, warum Stickstoffdünger als umweltschädlich gilt. Zum Klimakiller wird der Stoff aber nicht allein wegen der Produktion, sondern auch durch Folgeeffekte auf den Feldern. Nur etwa 40 Prozent der Emissionen entstehen bei der Herstellung. Die restlichen 60 Prozent werden auf den Feldern freigesetzt, hauptsächlich als Lachgas.

Dieser Stoff ist noch weitaus klimaschädlicher als CO₂. Lachgas wird von Bakterien im Boden produziert, die den Stick-

stoff aus dem aufgesprühten Dünger umwandeln. Wenn also der Düngereinsatz weniger klimabelastend sein soll, müssen auch die Emissionen auf den Feldern gesenkt werden, argumentiert FCA-Analyst Lazenby. Oder die althergebrachten Stickstoffdünger werden durch neue Stoffe und Verfahren ersetzt: Daran arbeiten vor allem Start-ups und Forschungseinrichtungen in verschiedenen Regionen der Welt.

► Nitricity: Das kalifornische Start-up erzeugt aus Mandelschalen mithilfe von Luft, Wasser und grünem Strom einen organischen Stickstoffdünger. Die 2018 gegründete Firma ist bereits in der Phase, in der sie die Produktion hochskaliert. Ende 2025 sammelte Nitricity 50 Millionen Dollar an frischem Kapital ein. Neben Khosla Ventures beteiligte sich auch der Münchener World Fund. Die Produktion aus der ersten Anlage ist bereits

plainpicture/Rudi Sebastian

LANDWIRTSCHAFT

Start-ups suchen klimafreundlichen Dünger

Die weltweite Landwirtschaft ist abhängig von künstlichem Stickstoffdünger, der das Klima belastet. Start-ups und Forscher suchen nach Alternativen, doch sie stoßen auf eine hohe Hürde.

Bert Fröndhoff Düsseldorf

Feldarbeit: Stickstoffdünger sichert die Ernährung von fast der Hälfte der Weltbevölkerung, schätzen Wissenschaftler.



bis 2028 ausverkauft. Allerdings ist der Dünger speziell und eher für die ökologische Landwirtschaft konzipiert. Nitricity will im nächsten Schritt nach Europa expandieren.

- **Toopi Organics:** Das französische Start-up setzt auf einen ganz besonderen Stoff, um das Wachstum von Pflanzen zu stärken – Urin von Menschen. Die Gründer haben eine Technologie zum Recycling dieses „Abwassers“ entwickelt. Gesammelt wird der Stoff etwa in Schulen und auf Musikfestivals sowie über Partnerschaften mit Toilettenbetreibern. Toopi nutzt Urin als Nährlösung zur Züchtung spezieller Bakterien, die den Stickstoff aus der Luft binden

und im Boden den Pflanzen zur Verfügung stellen.

- **Nitrocapt:** Das schwedische Unternehmen hat eine Technologie weiterentwickelt, die noch älter ist als das Haber-Bosch-Verfahren. Dabei wird der in der Luft enthaltene Stickstoff nicht mithilfe von Erdgas, sondern mit Plasma-Mikrowellen gewonnen. Ausgangsstoffe sind Luft, Wasser und grüner Strom. Nitrocapt hat bereits mit drei größeren Abnehmern Verträge geschlossen, zuletzt mit der führenden landwirtschaftlichen Genossenschaft aus Luxemburg.

Der konventionelle Stickstoffdünger belastet allerdings nicht nur das Klima. Da der in großen Mengen auf Feldern ausgebrachte Stoff nur teilweise von Pflanzen aufgenommen wird, gelangt der Rest in die Böden und ins Grundwasser.

Das hat Folgen für die Natur: Die Stoffe landen über Flüsse in Seen und Meeren und sorgen dort etwa für massiv wuchernde Algen. Sie verändern zudem die Biodiversität auf den Feldern. Die Überdüngung ist seit Langem auch ein Problem in der europäischen Landwirtschaft. Dort soll die Grundwasserbelastung durch Mengenvorgaben in der deutschen und europäischen Düngerverordnung gebremst werden. Mit Erfolg: Laut dem Umweltbundesamt ist der Stickstoffüberschuss in Deutschland in den vergangenen fünf Jahren gesunken. 2023 wurde erstmals der Zielwert erreicht.

Symbiose statt Kunstdünger

In anderen landwirtschaftlichen Regionen gelingt dies weniger gut. Forscher arbeiten deswegen auch an gentechnisch veränderten Saatgut. Sie wollen die Pflanzen so ausstatten, dass sie weniger Dünger von außen benötigen. Notwendige Nährstoffe sollen die Pflanzen stärker über ein symbiotisches Miteinander mit winzigen Organismen (Mikroben) im Boden beziehen. Bei vielen Pflanzen gelingt dies auf natürliche Weise: An ihren Wurzeln siedeln sich Mikroben an, die wichtige Nährstoffe weitergeben und im Gegenzug von der Pflanze Zucker beziehen. Diese produktive Gemeinschaft ist aber in der traditionellen, intensiven Landwirtschaft nur wenig verbreitet und umsetzbar.

Das könnte durch Veränderungen des Erbguts von Nutzpflanzen wie etwa Weizen verbessert werden. Die Forscherin Myriam Charpentier vom John Innes Centre im britischen Norwich Research Park hat bereits erste Erfolge durch die genetische Veränderung von Saatgut erzielt. „Unsere Ergebnisse bergen großes Potenzial für die Förderung einer nachhaltigen Landwirtschaft“, schreibt Charpentier in einem Beitrag für das Wissenschaftsmagazin „Nature“.

Neue Technologien wie das gezielte Genediting beschleunigen diese Entwicklung – ebenso die vor wenigen Wochen vom EU-Parlament verabschiedete neue Regulierung der Gentechnik in Europa. Die EU hat die Vorgaben für die Nutzung der grünen Gentechnik gelockert, beispielsweise die Kennzeichnungspflicht. Von einer kommerziellen Nutzung sind solche Verfahren aber Jahrzehnte entfernt.

Die Alternativen zum konventionellen Stickstoffdünger haben ein gemeinsames Problem: „Biologische Methoden sind zwar keineswegs Spielereien und sollten als Optionen weiterentwickelt werden“, analysieren die FCA-Experten. „Allerdings wird es schwierig sein, mit der Skalierbarkeit des Haber-Bosch-Verfahrens zu konkurrieren.“

Das heißt: Die riesigen Mengen an Nährstoffen, die in der globalen Landwirt-

schaft benötigt werden, sind mit alternativen Verfahren auf längere Sicht nicht lieferbar. Die FCA-Analysten setzen deswegen unter anderem auf schneller umsetzbare Schritte zur Dekarbonisierung der bestehenden Produktionsweise. Dabei stechen drei Technologien heraus.

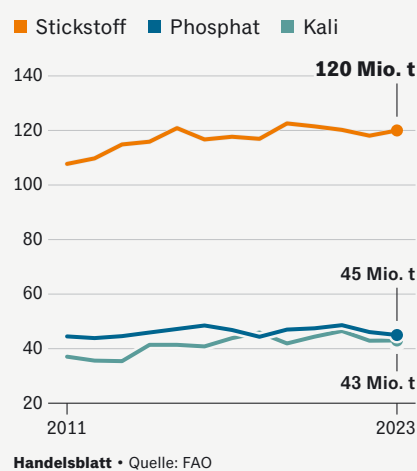
- **Grünes Ammoniak:** Dabei wird auf Erdgas als Rohstoffquelle verzichtet. Der notwendige Wasserstoff wird mit erneuerbar erzeugtem Strom über eine Elektrolyse aus Wasser gewonnen. Danach werden über etablierte Haber-Bosch-Verfahren Stickstoff und Ammoniak erzeugt. Die Kosten einer solchen grünen Herstellung sind wegen des großen Bedarfs an erneuerbarer Energie vergleichsweise hoch. Dennoch arbeiten einige Produzenten an Pilotprojekten. In Nordafrika und am Persischen Golf entstehen Anlagen, die Solarstrom zur Herstellung von grünem Ammoniak nutzen.
- **Plasma-Produktion:** Dieses über 100 Jahre alte Verfahren setzt das Start-up Nitrocapt ein. Dabei bindet ein Lichtbogen den Stickstoff direkt aus der Luft; dafür wird Luft, Wasser und grüner Strom benötigt. Der Energiebedarf ist sehr hoch, weshalb diese Technologie dem Haber-Bosch-Verfahren bis heute unterlegen ist. „Die Zukunft hängt von weiteren Fortschritten bei der Energieeffizienz und der Plasma-Reaktortechnik ab“, sagt FCA-Analyst Lazenby.
- **CCS-nachgerüstete konventionelle Produktion:** Dabei wird die traditionelle Produktion von Stickstoff und Ammoniak nicht verändert, es wird also Erdgas eingesetzt und es fallen große Mengen CO₂ an. Doch sollen diese Emissionen nicht in die Atmosphäre entweichen, sondern am Produktionsort eingefangen werden. Beim „Carbon Capture and Storage“ (CCS) wird CO₂ dann unterirdisch gespeichert.

„Aktuell ist noch keines dieser Verfahren kostentechnisch wettbewerbsfähig gegenüber der fossilbasierten Produktion“, sagt FCA-Analyst Lazenby. Ein dauerhaft hoher Erdgaspreis könnte aber die alternativen Verfahren auch wirtschaftlich interessanter machen.

Kurzfristig aber sieht Lazenby nur einen Weg, um die Klimabelastung durch Stickstoffdünger zu mindern. „Nur etwa 40 Prozent des ausgebrachten Stickstoffs werden von den Pflanzen aufgenommen. Das muss effizienter werden, durch präzise Ausbringung und eine bessere Abstimmung von Dosierung, Zeitpunkt und Einbringungsort auf den Bedarf der Pflanzen“, sagt er. „Das ist der mit Abstand wichtigste verfügbare Hebel zur Emissionsminderung.“ ◀

Stickstoff dominiert

Weltweite Düngemittelproduktion nach Nährstoff in Mio. Tonnen



INFOKASTEN

Greentech-Serie

„Diese grünen Ideen könnten die Welt verändern“: Von Wellenkraftwerken, CO₂-freiem Zement und Solaranlagen im Weltraum bis zu energie-spendenden Algenarten – überall gibt es Ideen mit dem Potenzial, die Welt zu verändern. Nur wenige schaffen den Durchbruch. Wir stellen einige der interessantesten Innovationen vor. Wissenschaftlich begleitet wird die Serie von dem unabhängigen Thinktank Future Cleantech Architects.

SUDOKU Zahlenspiele für Rätselfreunde

Sudoku (mittel)						7		
		4	8				2	9
	9	2	6		8	4		5
		7			6	8	9	
					1			3
			3	2	9			
	5			9				2
	3	8				2		7
					3	6		

Sudoku (schwer)					7			6
		1				3		
		6					5	4
	6				9			7
	7	3	8		4	5		
	4						8	
			9		5			3
			3			6	1	4
	5			4		1		2

Lösungen von Ausgabe 131

Das Kulträtsel Sudoku auch unter:
www.handelsblatt.com/sudoku

So funktioniert es:
Füllen Sie die Matrix mit Zahlen von 1 - 9. Jede Ziffer darf nur einmal in jeder Spalte, Reihe und in den 3x3 Feldern vorkommen. Doppelungen sind nicht erlaubt.

Sudoku (mittel)	3	9	7	1	8	6	4	5
	4	2	8	9	3	5	6	1
	1	6	5	7	2	4	3	9
	6	1	9	5	4	8	7	2
	5	4	3	2	7	9	8	6
	8	7	2	6	1	3	5	4
	9	8	4	3	5	2	1	7
	2	5	1	8	6	7	9	3
	7	3	6	4	9	1	2	8

Sudoku (schwer)	7	8	2	5	1	3	4	9
	6	1	3	9	4	7	2	8
	5	9	4	2	8	6	1	3
	3	6	5	4	9	2	7	1
	2	7	1	3	5	8	9	6
	9	4	8	7	6	1	3	5
	1	2	7	8	3	5	6	4
	4	5	6	1	7	9	8	2
	8	3	9	6	2	4	5	7