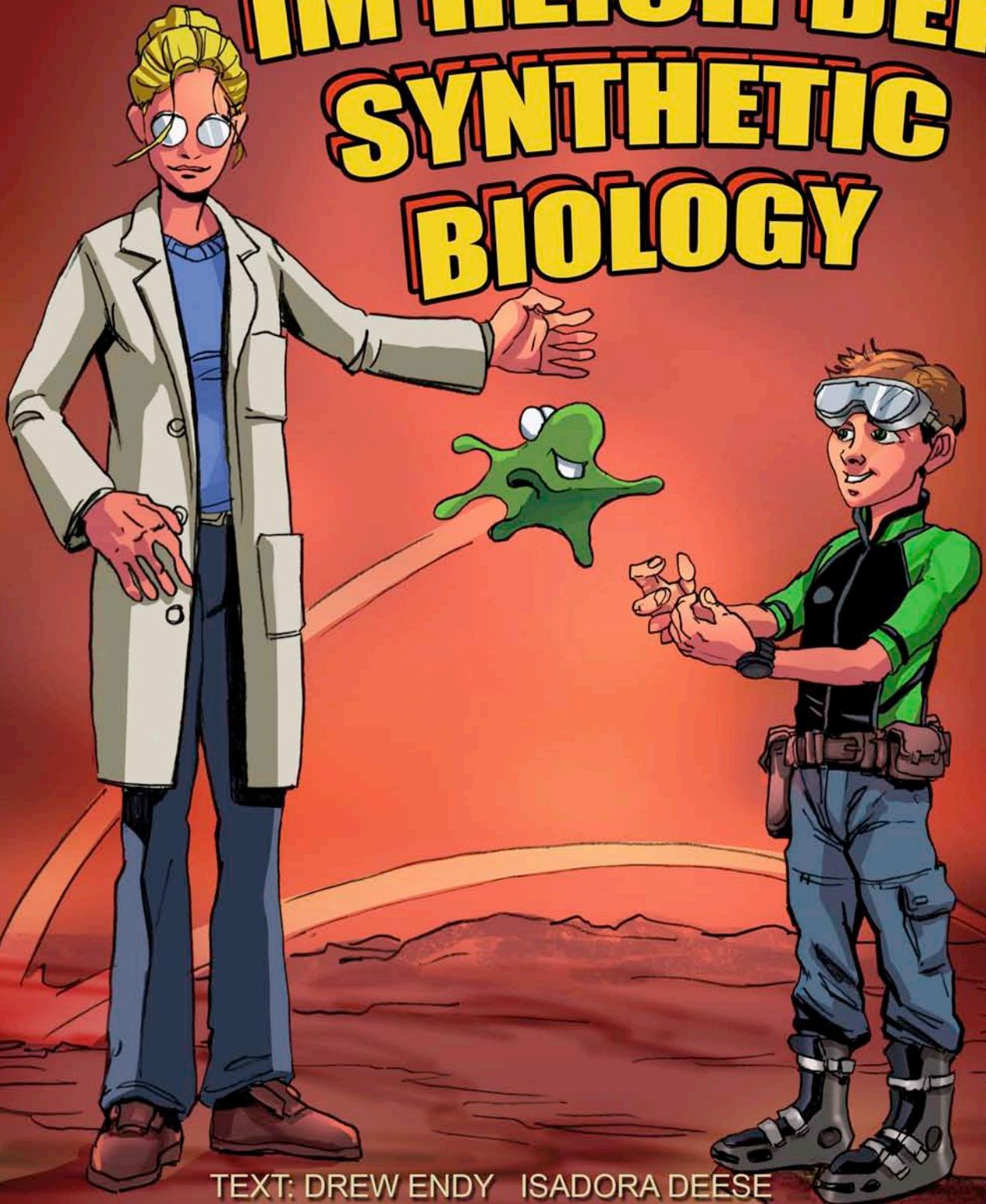


# ABENTEUER IM REICH DER SYNTHETIC BIOLOGY



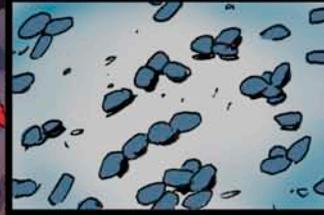
TEXT: DREW ENDY ISADORA DEESE  
THE MIT SYNTHETIC BIOLOGY WORKING GROUP  
ILLUSTRATION: CHUCK WADEY [www.CHUCKWADEY.COM](http://www.CHUCKWADEY.COM)  
DEUTSCHE BEARBEITUNG: FORUM GENFORSCHUNG / SCNAT  
[WWW.GENETICRESEARCH.CH](http://WWW.GENETICRESEARCH.CH)

# DNA PROGRAMMIEREN



PASS AUF,  
GEH NICHT  
ZU NAH RAN.

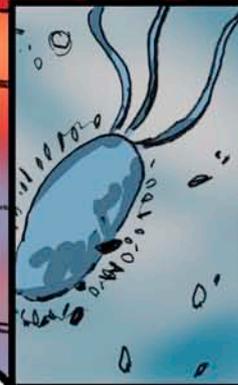
SCHAU MAL DIESE  
BAKTERIEN.



STELL DIR MAL VOR,  
WAS ALLES MÖGLICH WÄR,  
WENN DIE FÜR UNS  
ARBEITEN WÜRDEN!

HMM... BIST DU SICHER, DASS  
DU GENUG VON DER SACHE  
VERSTEHST?

WILLST DOCH  
BESTIMMT NICHT,  
DASS ETWAS SCHIEF  
GEHT, ODER?



DAS WERDEN WIR  
NUR RAUSKRIEGEN,  
WENN WIR'S AUS-  
PROBIEREN!



SCHNAPPEN WIR  
UNS EINEN!

HEY KLEINER.



WIE FUNKTIONIEREN DENN DIE DINGER ÜBERHAUPT?

ALLE LEBEWESEN FUNKTIONIEREN NACH DNA-PROGRAMMEN.

KOMM, ICH ERKLÄR'S DIR DRINNEN!

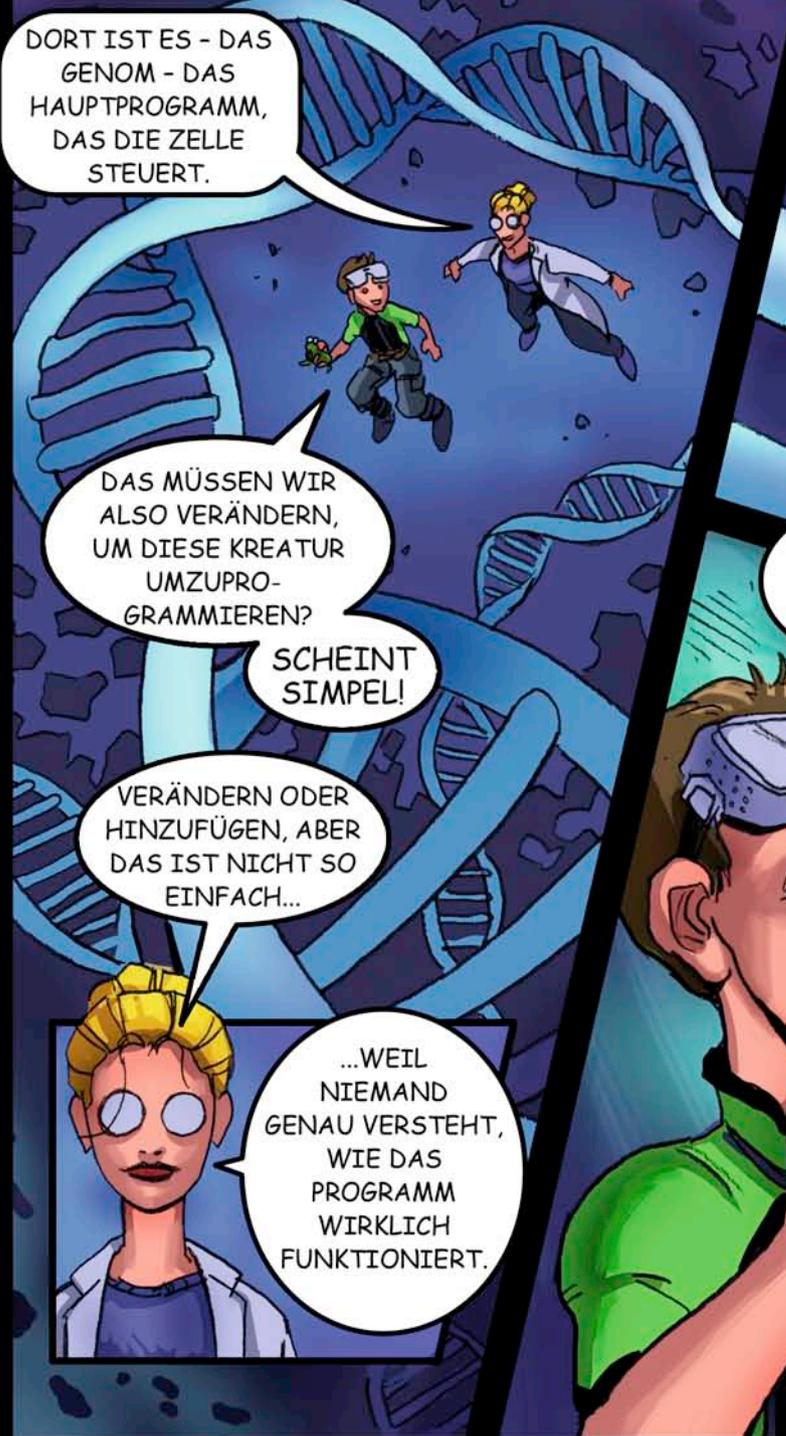


JEDE ZELLE HAT IHR EIGENES DNA-PROGRAMM, DAS GENOM.

SCHAU MAL!

WAAAS?! WHOAH!

ZZZZT



DORT IST ES - DAS GENOM - DAS HAUPTPROGRAMM, DAS DIE ZELLE STEUERT.

DAS MÜSSEN WIR ALSO VERÄNDERN, UM DIESE KREATUR UMZUPROGRAMMIEREN?

SCHIEINT SIMPEL!

VERÄNDERN ODER HINZUFÜGEN, ABER DAS IST NICHT SO EINFACH...



...WEIL NIEMAND GENAU VERSTEHT, WIE DAS PROGRAMM WIRKLICH FUNKTIONIERT.

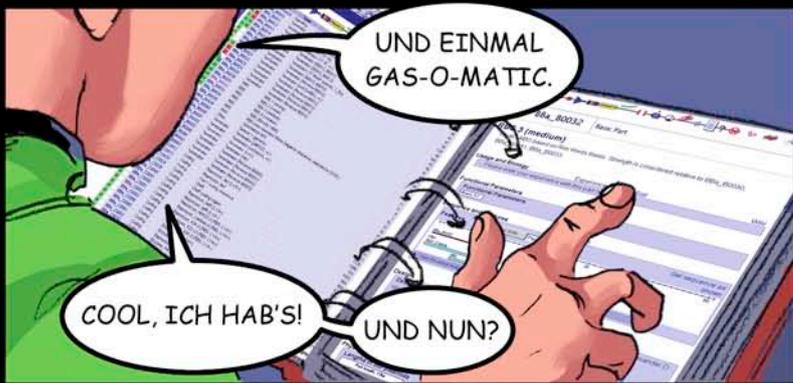


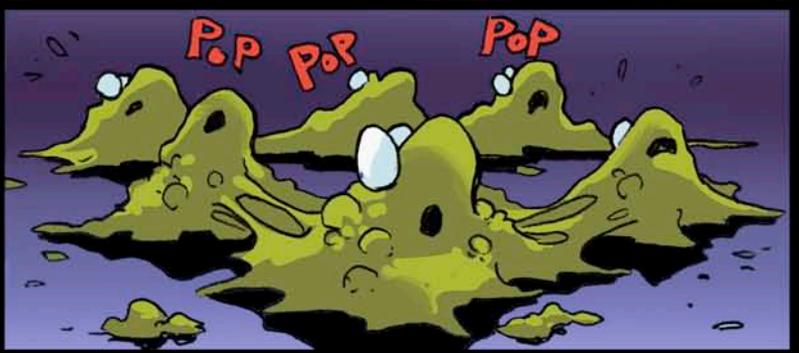
WETTEN, DASS ES KLAPPT!

HAST DU NE IDEE?

HMMM...

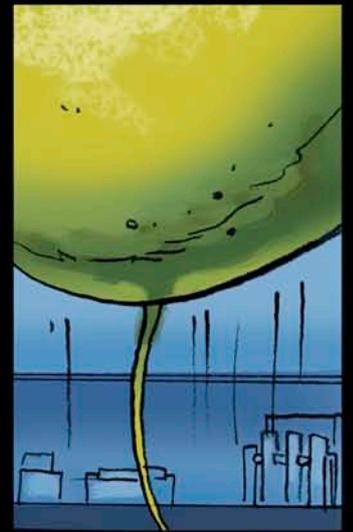
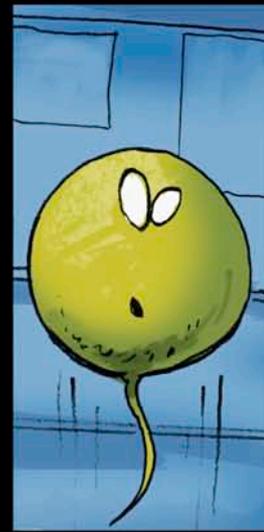
ZZZZT







SCHAU MAL! ES FUNKTIONIERT!!!  
SUPER!



HMM. DA STIMMT WAS NICHT.



HEI WAS WAR DAS?



DU HAST VERGESSEN, DEINEM PROGRAMM ZU SAGEN, WANN ES AUFHÖREN SOLL!



DER KLEINE HAT WEITERGEMACHT, BIS ES ZU SPÄT WAR.



HMM. SOLLTE WOHL MEHR DARÜBER WISSEN, BEVOR ICH WEITER EXPERIMENTIERE.

SO, MEINST DU?

FORTSETZUNG FOLGT...

# GENETISCHE MODULE BAUEN

ICH WEISS, DASS DAS MIT DEN BAKTERIENBALLONEN FUNKTIONIERT,

ABER WIE KANN MAN SIE STOPPEN, BEVOR SIE EXPLODIEREN?

KOMM, ICH MACH DICH MIT EINEM NÜTZLICHEN FREUND BEKANNT, DEM INVERTER

VIELLEICHT IST ER DAS, WAS DU SUCHST.

TOLL, DASS DU MIR DAS JETZT SAGST!

WAS ZUM TEUFEL IST EIN INVERTER?

ALSO, PASS AUF! EIN INVERTER IST EINE KOMBINATION VON DNA-GRUNDELEMENTEN,

## Elemente eines Inverters

1. **Ribosomenbindungsstelle (RBS)** - Grundelemente, die den Prozess der Proteinsynthese induzieren.

2. **Repressor** - Ein Gen, das ein bestimmtes Protein kodiert, welches sich in einem spezifischen Operatorbereich an eine DNA-Stelle anlagert und Veränderungen in der genetischen Expressionsrate induziert.

3. **Terminator** - Spezielle Elemente, die den RNA-Polymerasefluss entlang der DNA reduzieren, manchmal bis auf Null!

4. **Operator** - DNA-Segmente, die Repressorproteinbindungsstellen und RNA-Polymerasebindungs- und -initiationsstellen enthalten. Mit einem Repressorprotein wird der Operatorbereich ausgeschaltet. Ohne Repressorprotein wird der Operatorbereich eingeschaltet, wodurch sich die RNA-Polymerase anlagern und ein HOHES Outputsignal initiieren kann.

WENN DU DAS INVERTER-MODUL VERWENDET HÄTTEST, HÄTTEST DU DEN UNFALL UNSERES KLEINEN VERHINDERN KÖNNEN.

FIEP!

DIE ETWAS INS GEGENTEIL VERKEHREN, WENN MAN SIE ZUSAMMENSCHLIESST.

EIN WIRD ZU AUS, NIEDER WIRD ZU HOCH, USW.

HMM... WARUM SAGST DU DEM MODUL?

WÄR DIR DINGSBUMS LIEBER?

ACH, WARUM WEISST DU IMMER ALLES! VERGISS ES!

EIN MODUL VERBIRGT IN SEINEM INNERN ALLE ELEMENTE, DIE ES ZUM FUNKTIONIEREN BRAUCHT.

HIER IST Z.B. EIN STÜCK DNA-CODE.

WEISST DU, WAS ES ALLES MACHEN KANN?

HEE! PASS AUF!

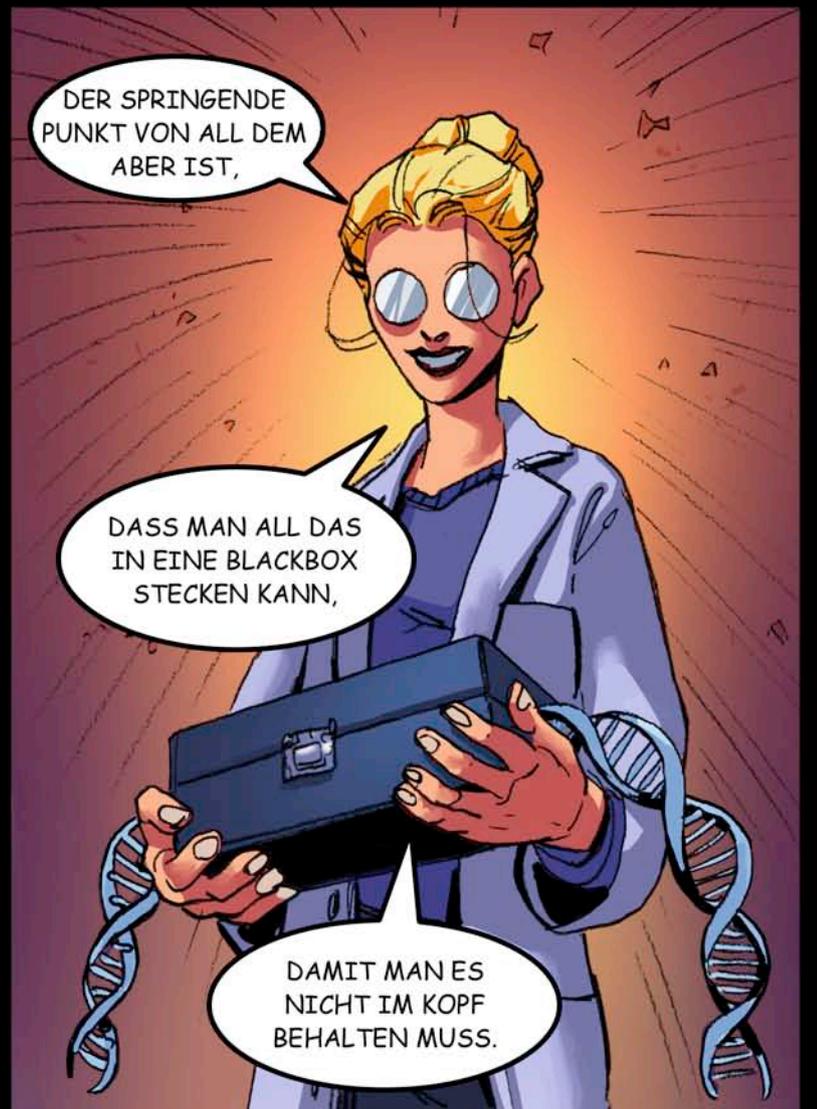
KEINE AHNUNG!

MACHT NICHTS. ICH WILL DAMIT NUR SAGEN, DASS MAN SICH NICHT JEDES STÜCK DNA EINZELN MERKEN MUSS.

MAN KANN SIE ALLE IN DIESES MODUL STECKEN.

UFF!

WIE HAST DU DAS GEMACHT?



# GEMEINSAME SIGNALTRÄGER





NA DANN LOS. MACH BESSERE MODULE, DIE IN VERSCHIEDENEN KOMBINATIONEN VERWENDET WERDEN KÖNNEN.

WIE?



NUN, MIT DEN ALTEN MODULEN HABEN WIR DAS PROBLEM, DASS DIE EINGANGS- UND AUSGANGSSIGNALE UNTERSCHIEDLICHE PROTEINE VERWENDEN.

RICHTIG. UND WIR WISSEN, WIE MAN DIE PROTEINKONZENTRATION MESSEN KANN.



UND? ES SIND TROTZDEM UNTERSCHIEDLICHE PROTEINE.

NUN, ICH KRIEG EINEN PREIS FÜR DIE ENTDECKUNG EINES WICHTIGEN PROTEINS!

NA UND? DAS HILFT MIR NICHT WEITER, WENN ICH DEINE MODULE ZUSAMMENSCHLIESSEN WILL!



ABER... DER ZUSTAND EINER ZELLE LÄSST SICH DOCH AM BESTEN ÜBER DIE ZAHL DER MOLEKÜLE DEFINIEREN, AUS DENEN SIE BESTEHT ODER?

FIEP!



VIELLEICHT EBEN NICHT. WARUM VERSUCHST DU'S NICHT MIT WAS ANDEREM!



HMM...

WIE WÄR'S, WENN...?



SCHAU MAL!

HMM?

& die Genexpressionsrate ist hoch - Die



JETZT SENDEN UND EMPFANGEN MEINE INVERTER DAS SIGNAL ÜBER DIE EXPRESSIONSRATEN AM EIN- UND AUSGANG DES MODULS!

SUPER!



WENN DIE INPUTRATE HOCH IST, ENTSTEHT DAS REPRESSORPROTEIN, DIESES SCHNELLT HOCH UND LANDET AUF DER OPERATORSTELLE. DADURCH WIRD DIE OUTPUTRATE TIEF.

BEI TIEFER INPUTRATE ENTSTEHT KEIN REPRESSOR, SO DASS DER OUTPUT HOCH IST!

SEHR GUT! ABER, WAS IST DIESE RATE GENAU?



DIE GENETISCHE EXPRESSIONSRATE!

WAS MEINST DU DAMIT?

DIE GENETISCHE EXPRESSIONSRATE IST DIE ANZAHL RNA-POLYMERASE-MOLEKÜLE, DIE PRO SEKUNDE AN DIR VORBEITRUDELN...

...DESHALB NENN ICH SIE POLYMERASE PRO SEKUNDE ODER POPS.\*\*

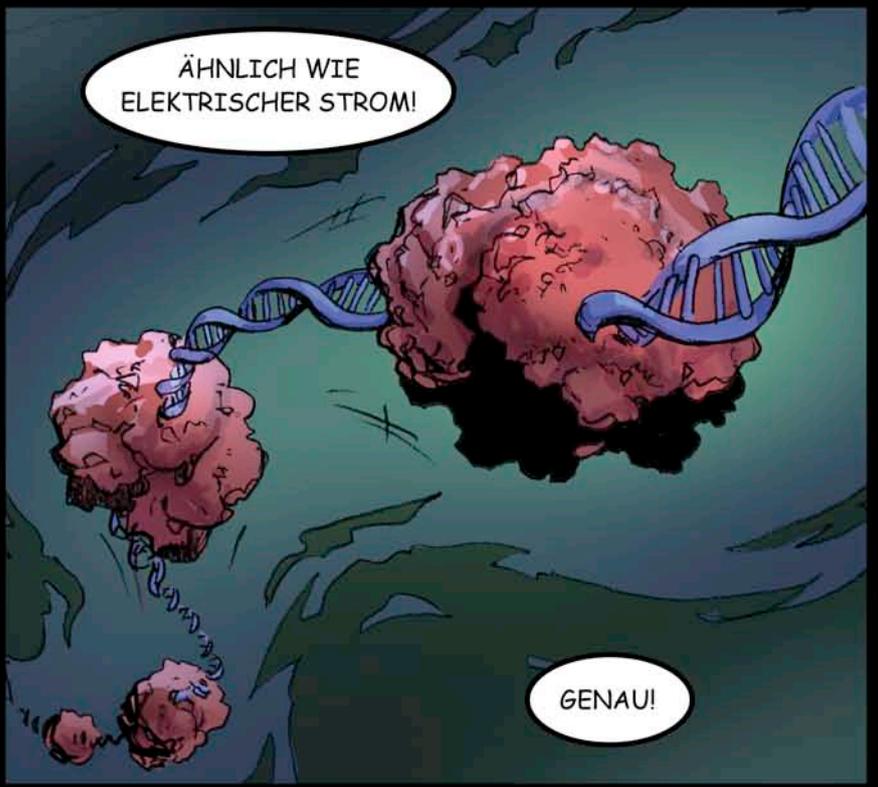
AH! DER SCHÜLER WIRD ZUM LEHRER!  
STELL DIR VOR, DU STEHST AUF DER DNA AN DER STELLE, WO DAS INPUTSIGNAL EINTRIFFT.

OK. UND DANN?

AUSGEZEICHNET!



POPS, DAS IST DER "FLUSS" DER RNA-POLYMERASE ENTLANG MEINEM DNA-STRANG.



ÄHNLICH WIE ELEKTRISCHER STROM!

GENAU!



UND WIE KANN MAN POPS MESSEN?

WEISS NICHT. WENN ICH'S RAUSFINDE, SOLL'S NACH MIR BENANNT WERDEN!



1 GIGADUDE



DIESER GEMEINSAME SIGNALTRÄGER, POPS, LÖST DAS PROBLEM DER VERKOPPLUNG UNSERER GENETISCHEN MODULE.

TOLLE ENTDECKUNG, DUDE!

MUSSTE JA EIGENTLICH NUR MEINE MODUL-DNA UMGANZELN. STELL DIR DIE MÖGLICHKEITEN VOR.

ZELLEN SO PROGRAMMIEREN, DASS SIE AUFHÖREN, WENN SIE SICH ZU OFT TEILEN,

ZELLEN, DIE SO UMGEBAUT WERDEN, DASS SIE INSULIN BILDEN...



KEINE PLATZENDEN BALLONE MEHR?

ÄHM, NEIN, SICHER NICHT!



ICH FRAG MICH, OB NATÜRLICHE BIOSYSTEME POPS VERWENDEN?



WER WEISS

ABER SCHAU, WIR KÖNNEN DAMIT DINGE BAUEN!

References

- \*Elowitz & Leibler Nature v403 p335
- \*\*Che et al. "A common signal carrier for genetic devices" (submitted)

Inspiration & Acknowledgements  
 Morton "Life, Reinvented" WIRED 13.01  
 Gonick and Wheelis, The Cartoon Guide to Genetics  
 McCloud, Understanding Comics  
 Howtoons, www.howtoons.org  
 Image and Meaning, web.mit.edu/i-m/  
 Thanks to Joost Bonsen, Felice Franke, Larry Gonick, Saul Griffith, Heather Keller & Ty Thomson.

Contact  
 Drew Endy via endy@mit.edu