



Saskia Smets

Tussen **biologie** en **gedrag**

De interactie van nature en nurture
in de ontwikkeling
van kinderen en jongeren

**Lannoo
Campus**

Inhoud

Inleiding: De kracht van biologische kennis in de praktijk	11
DEEL 1: (EPI)GENETICA	20
Hoofdstuk 1: Bouwstenen van het leven	23
1 Organisatieniveaus in ons lichaam	24
2 Bouwstenen	25
2.1 Koolhydraten, sachariden of suikers	25
2.2 Lipiden of vetten	28
2.3 Eiwitten of proteïnen	31
2.4 Nucleïnezuren	34
3 Cel	43
4 DNA-processen	48
4.1 Eiwitsynthese	49
4.2 DNA-replicatie	56
4.3 Mutaties	58
5 Celcyclus	64
5.1 Functie van de celcyclus	64
5.2 Fasen van de celcyclus	69
6 Voortplanting	77
6.1 Voortplantingscellen	78
6.2 Bevruchting	90
Hoofdstuk 2: Genetica	99
1 Erfelijkheidsleer	100
1.1 Ontdekking van DNA	100
1.2 Genen en chromosomen	102
2 Erfelijke aandoeningen	107
2.1 Autosomale afwijkingen	108
2.2 Geslachtsgebonden afwijkingen	113
2.3 Chromosomale afwijkingen	116

3	Human Genome Project	120
4	Gedragsgenetica	122
4.1	Attention Deficit (Hyperactivity) Disorder	123
4.2	Autismespectrumstoornis	126
4.3	Dyslexie	128
5	Genetische netwerken	131

Hoofdstuk 3: Epigenetica **132**

1	Epigenetica	134
2	Epigenetische modificaties	136
2.1	DNA-methylering	136
2.2	Histonmodificatie	137
2.3	Niet-coderende RNA's	140
3	Epigenetische processen	142
3.1	Genexpressie	142
3.2	Celbepaling	142
3.3	Epigenetische klok en biologische leeftijd	143
3.4	Genomische imprinting	145
4	Epigenetische veranderingen	148
5	Epigenetische aandoeningen	154
6	Epigenetische overdracht	157
7	Epigenetische therapie	160
7.1	Epigenetisch redigeren	161
7.2	Epigenetische medicatie	162
7.3	CRISPR/dCas-techniek	163
7.4	Omkeerbaarheid door leefstijl	164
8	Ethiek en epigenetica	164

Besluit deel 1: (Epi)genetica – tussen aanleg en omgeving **167**

DEEL TWEE: FYSIOLOGIE EN PATHOLOGIE **172**

Hoofdstuk 1: Bloed, hart en bloedsomloop **175**

1	Bloed	176
2	Bloedgroepen en resusfactor	181
3	Bloedvaten	183
4	Bouw van hart en bloedsomloop	185
5	Bloeddruk	190

Hoofdstuk 2: Ademhaling **194**

1	Bouw van ademhalingsstelsel	195
1.1	Neusholte en keelholte	196
1.2	Luchtpijp	199
1.3	Longen	200
2	Luchtwegeninfecties	203
3	Ventilatie en gasuitwisseling	206
3.1	Ventilatie	206
3.2	Gasuitwisseling	209

Hoofdstuk 3: Stofwisseling, uitscheiding, voeding en beweging **215**

1	Spijsverteringsstelsel	216
1.1	Mond en maag	217
1.2	Dunne darm en lever	223
1.3	Darmmicrobioom	235
2	Uitscheiding	240
3	Belang van voeding – extra dossier	243
3.1	Wat is de voedingsdriehoek?	243
3.2	Uitgangspunten van de voedingsdriehoek	244
3.3	Hoe ongezonde voeding het lichaam beïnvloedt	245
3.4	Hoe kan je het verschil maken?	246
4	Belang van beweging – extra dossier	250
4.1	De bewegingsdriehoek: Basis voor gezonde beweeggewoonten	251
4.2	Waarom zit je het best niet te lang stil?	253
4.3	Voordelen van bewegen	254

Hoofdstuk 4: Immunologie **258**

1	Ziekteverwekkers	260
1.1	Virussen	260
1.2	Bacteriën	262
1.3	Schimmels, protozoa, parasieten	264
1.4	Overdracht pathogenen	266
2	Afweersysteem	267
2.1	Aangeboren afweersysteem	268
2.2	Verworven afweersysteem	270
2.3	Reacties op indringers	275

3	Problemen met herkenning	276
3.1	Allergie	276
3.2	Auto-immuunziekten	278
4	Boost voor immuunsysteem	279

Hoofdstuk 5: Hormonen **280**

1	Hormonaal systeem	281
1.1	Hormonen	281
1.2	Aansturing door zenuwstelsel	283
1.3	Wisselwerking met andere systemen	288
1.4	Disbalans van hormonale werking	291
2	Hormonen	292
2.1	Bloedsuikerregulerende hormonen	292
2.2	Stresshormonen	298
2.3	Geslachtshormonen	301
2.4	Neurohormonen	304
3	Invloed van hormonen in de puberteit	306

Besluit deel 2: Fysiologie en pathologie – begrijpen wat het lichaam zegt **309**

DEEL 3: NEUROBIOLOGIE **314**

Hoofdstuk 1: Zenuwstelsel **319**

1	Fundamenten van het brein	321
1.1	Zenuwcellen of neuronen	322
1.2	Gliacellen	325
1.3	Synaps en neurotransmitters	326
2	Neuroplasticiteit	333
2.1	Neurogenese	334
2.2	Arborisatie en synaptogenese	334
2.3	Synaptische plasticiteit	336
2.4	Myelinisatie	337
2.5	Keerzijde van plastisch brein	340
3	Centraal zenuwstelsel	342
3.1	Hersenstam	343
3.2	Kleine hersenen	344
3.3	Tussenhersenen	347
3.4	Grote hersenen	351
3.5	Ruggenmerg	370

4	Complexiteit van brein	372
4.1	Neurale circuits	373
4.2	Connectoom	374
5	Perifeer zenuwstelsel	378
5.1	Perifeer zenuwstelsel	379
5.2	Autonoom zenuwstelsel	382

Hoofdstuk 2: Brein in ontwikkeling **394**

	Inleiding: Evolutie van het brein	395
1	Brein in baarmoeder	399
1.1	Eerste aanleg zenuwstelsel	399
1.2	Invloed van prenatale omgeving op hersenontwikkeling	402
2	Baby- en peuterbrein	405
2.1	Primitieve reflexen	405
2.2	Arborisatie en synaptogenese	407
2.3	'Serve and return'-principe	408
2.4	Spiegelneuronen	410
2.5	Ontwikkeling van limbisch systeem	412
2.6	Hechting in brein	413
2.7	Myelinisatie	415
3	Kinderbrein	418
3.1	Groeien en snoeien	418
3.2	Sensitieve periodes	420
3.3	Toxische stress	422
4	Tienerebrein	424
4.1	Chaos in opbouw	425
4.2	Sociaal-emotionele brein	428
4.3	Besluitvorming	435
4.4	Kracht van tienerbrein	436
4.5	Opvoeden van tieners	438

Hoofdstuk 3: Maakbaar brein **441**

1	Maakbaar brein	443
1.1	Voeding	444
1.2	Beweging	447
1.3	Slaap	450
1.4	Creativiteit	454
1.5	Meditatie	457
1.6	Stress en trauma	460

2	'Falend' brein	463
2.1	Neurologische ontwikkeling bij ASS, AD(H)D en leerstoornissen	463
2.2	Neurodiversiteit	476
2.3	Dimensies van neurodiversiteit	478
2.4	ASS, ADHD en leerproblemen in kader van neurodiversiteit	480
3	Lerend brein	483
3.1	Slim leren	484
3.2	Growth mindset-theorie	488

Besluit deel 3: Neurobiologie – de magische wereld van het brein 492

Algemeen besluit: Tussen biologie en omgeving – kijken met nieuwe ogen 494

Dankwoord 497

Bronnenlijst 499

Eindnoten 507

LEGENDE VOOR KADERSTUKKEN

Wat neem je mee als jeugdprofessional?

Kernboodschappen vooraan elk deel die aangeven wat je als professional kunt meenemen in je dagelijkse praktijk.

Inzichtsvragen

Bij elk hoofdstuk zijn vragen geformuleerd die richting geven aan het denken en waarop het boek antwoorden biedt.

Belangrijk

Een overzicht van de belangrijkste onderwerpen binnen elk onderdeel, kort uitgelegd.



Weetje

Wetenschappelijk onderbouwde feiten en inzichten die de lezer verrassen en inspireren.



Praktijk

Theoretische kaders, relevante onderzoeken, ziektebeelden en andere voorbeelden die direct toepasbaar zijn in het werken met kinderen en jongeren.



Casus

Verhalen van kinderen en jongeren, inclusief de impact op hun leefwereld en context.



Inspiratie

Suggesties voor verdiepende bronnen zoals websites, artikelen, boeken en documentaires.

INLEIDING:

De kracht van biologische kennis in de praktijk

Er is weinig zo magisch als het menselijk lichaam én leven. Het ontstaan van nieuw leven, het opgroeiende kind, de volwassen mens die zijn weg zoekt, en het ouder wordende lichaam dat vertraagt maar nog zoveel draagt, elk stadium roept verwondering op. Al van jongs af aan ben ik gefascineerd door wat zich in ons lichaam afspeelt. Wat maakt het mogelijk dat we kunnen voelen, denken, leren, groeien, herstellen, reageren, liefhebben? Hoe dieper ik dook in de wereld van de menselijke biologie, hoe groter mijn verwondering werd. Biologische processen zijn als een heelal op zich, oneindig complex en vol geheimen, maar tegelijk verrassend logisch en precies. Het is ongelooflijk wat er allemaal binnen in ons gebeurt, zonder dat we ons daar bewust van zijn.

Die nieuwsgierigheid bracht me bij vragen die me tot vandaag blijven bezighouden. Hoe werkt ons lichaam nu eigenlijk écht? Hoe weten onze cellen wat ze moeten doen? Hoe beïnvloeden onze genen de manier waarop ons lichaam functioneert en waarom werkt dat bij iedereen een beetje anders? Wat gebeurt er met voeding in ons lijf? Hoe werkt ons afweersysteem tegen ziekten, en wat gebeurt er precies als we ziek worden? En hoe zit dat met onze hormonen, wat regelt hoeveel er van iets wordt aangemaakt, en waarom loopt dat soms uit balans? En vooral: hoe ontwikkelt ons brein zich, en hoe beïnvloedt dat alles wat we denken, voelen en doen?

Maar hoe meer kennis ik verkreeg, hoe complexer alles leek te worden. Biologie bestaat niet an sich want niemand leeft in een vacuüm. Elk lichaam, elk brein, elke biologische aanleg, alles functioneert in wisselwerking met de omgeving.

We dragen allemaal een unieke 'biologische rugzak', of *bios*:¹ een combinatie van onze genetische aanleg én de biologische processen die beïnvloed worden door

omgevingsfactoren en levenservaringen. Die rugzak bepaalt mee hoe we in het leven staan, wat ons gemakkelijk afgaat en waar we kwetsbaar zijn. Ieder heeft zo zijn eigen biologische lasten of het nu ADHD, diabetes, epilepsie, astma, mucoviscidose, lyme, hyperventilatie, hypotensie, dyscalculie of jeugdtrauma's zijn.

Deze biologische basis staat voortdurend onder invloed van de context waarin we leven. Factoren zoals slaap, voeding, stress, hormonen, sociale steun en levenservaringen bepalen mee ons dagelijks functioneren. Sommige factoren kiezen we bewust, zoals wat we eten of hoeveel we bewegen; andere factoren overkomen ons, zoals het gezin waarin we opgroeien, onverwachte stress of de bredere samenleving waarin we leven. Toch bepalen al deze elementen hoe we ons voelen, denken en gedragen.

Vanuit dit brede perspectief wordt biologie in dit boek benaderd. Wat verstaan we precies onder biologie? Welke elementen zitten er in onze biologische rugzak? Hoe beïnvloedt de omgeving onze bios, en hoe bepaalt die vervolgens wie we zijn en hoe we handelen? Dit boek neemt je stap voor stap mee langs de fundamenteën van de menselijke biologie, altijd met het oog op jouw rol als jeugd- en sociaal professional.

In Deel 1: (Epi)genetica ontdek je hoe genetische aanleg en invloeden van buitenaf samen ons functioneren bepalen. Deel 2: Fysiologie en pathologie laat zien hoe ons lichaam werkt, hoe de verschillende systemen met elkaar verbonden zijn en wat er gebeurt als het evenwicht verstoord raakt. In Deel 3: Neurobiologie staat het brein centraal: je leert hoe het zenuwstelsel werkt, hoe de hersenen zich ontwikkelen en hoe deze processen zich vertalen in gedrag. Elk deel bevat veel praktijkvoorbeelden en casussen, zodat je de theorie makkelijk naar de praktijk kunt vertalen en leert kijken naar wat er in én rondom het lichaam gebeurt.

Het is belangrijk om te beseffen dat geen enkel onderdeel van ons lichaam geïsoleerd werkt. Ons functioneren ontstaat uit een complex samenspel van genen, hersenen, organen en omgeving. Alles is met elkaar verbonden: gedrag, emoties en gezondheid worden continu beïnvloed door zowel biologische processen als door de context waarin iemand leeft. Dankzij de biologische plasticiteit van onze genen en hersenen blijven groei en verandering levenslang mogelijk. Tegelijk schuilt er ook kwetsbaarheid in dat plastisch vermogen: in een onveilige of te belastende context kan het brein zich minder optimaal ontwikkelen, kunnen genen anders functioneren met blijvende invloed op denken, voelen en gedrag.

Deze biologische plasticiteit toont aan hoe diepgaand de interactie tussen nature² (onze genetische aanleg) en nurture³ (invloeden uit de omgeving) eigenlijk is. Het is nurture die onze nature beïnvloedt. Genen geven de instructies maar de omgeving bepaalt wanneer en hoe krachtig die instructies worden uitgevoerd. Je biologische rugzak bevat daarom niet alleen je 'startmateriaal', maar ook de sporen van ervaringen, context en ontwikkeling. Elke ontmoeting of ervaring, elk moment van steun of stress, elke kans of gemis, het laat iets na, tot in je cellen, je zenuwbanen en in je gedrag.

Voor jeugd- en sociaal professionals is inzicht in onderliggende biologische processen een waardevolle aanvulling om naar gedrag kijken. Wie begrijpt wat er zich op lichamelijk niveau afspeelt, kan gedrag beter plaatsen, aanvoelen en begeleiden.

Neem bijvoorbeeld een tienermeisje dat zich plots verdrietig en onzeker voelt. Zonder zicht op wat er hormonaal gebeurt, lijkt haar gedrag misschien onvoorspelbaar of overdreven. Maar als je weet dat hormonale schommelingen tijdens de menstruatiecyclus zowel haar hormonale evenwicht als het evenwicht van neurotransmitters, stoffen in de hersenen, beïnvloeden, begrijp je dat haar stemming niet zomaar 'een fase' is, maar biologisch verklaarbaar. Of kijk naar een kind dat snel ziek wordt na langdurige stress. Stress zet het lichaam onder druk en activeert het stresssysteem, waardoor het immuunsysteem tijdelijk verzwakt raakt. Dat maakt het kind vatbaarder voor infecties, een duidelijk signaal dat zijn lichaam nood heeft aan rust en veiligheid. Ook voeding speelt een rol. Een kind dat na een suikerrijke maaltijd hyperactief wordt en even later boos of huilerig, ervaart een bloedsuikerdip. Hij begrijpt zelf niet waarom hij zich zo voelt, maar jij als professional kan herkennen dat die uitbarsting geen 'vervelend gedrag' is, maar een lichamelijke reactie. Een puber die impulsief reageert of snel ruziemaakt, lijkt misschien opstandig, maar vaak is het brein gewoon nog niet klaar voor zelfbeheersing. De prefrontale cortex, die instaat voor plannen en controleren, is nog volop in ontwikkeling. Dat betekent dat hij biologisch gezien nog niet altijd kán reguleren wat wij van hem verwachten. Zelfs slaap heeft een biologische invloed: hoe je slaapt, beïnvloedt hoe je leert. Een kind dat slecht slaapt, heeft meer moeite met concentratie en geheugen. En kinderen die opgroeien in een veilige of juist stressvolle omgeving, dragen dat mee in hun hersenontwikkeling. Traumatische ervaringen laten letterlijk sporen na in het brein, wat hun gedrag blijvend kan beïnvloeden.

Bovendien helpt biologische kennis je adequaat te reageren bij acute situaties zoals diabetes, epilepsie of flauwvallen. Begrijpen wat er lichamelijk gebeurt, maakt dat je snel, gepast en geruststellend kunt handelen.

Wanneer je gedrag herkent als een mogelijke uiting van onderliggende biologische processen, verandert dat je blik. Het zorgt voor meer rust, minder veroordeling, en vaak ook meer zachtheid en geduld, voor jezelf én voor de ander.

Tegelijkertijd speelt niet alleen de bios of biologische rugzak bij het kind maar ook bij de opvoeder, begeleider of professional. In elke pedagogische relatie is er sprake van een voortdurende wisselwerking tussen de verschillende partijen. Opvoeding ontstaat uit de interactie tussen de pedagogische vraag van het kind en het aanbod van de opvoeder. Een kind dat snel overprikkeld raakt, hongerig is of hormonale schommelingen ervaart, stelt andere noden dan een kind dat zich lichamelijk goed voelt. Maar ook het aanbod van de opvoeder wordt beïnvloed door diens eigen *bios*: vermoeidheid, stress of fysieke pijn hebben directe impact op hoe je als opvoeder reageert. Biologie vormt dus geen achtergronddecor, maar een voortdurend aanwezige factor in het contact en de afstemming tussen kind en volwassene.

Dit boek nodigt je uit om je eigen en andermans biologische rugzak te leren kennen, te begrijpen hoe deze zich ontwikkelt en om voortdurend te zoeken naar nieuwe handvatten voor de noden van dat moment. Of je nu werkt in een leefgroep, een klas, een hulpverleningsorganisatie of aan beleid, inzicht in biologische processen kan een krachtig hulpmiddel zijn. Het helpt je om gedrag in context te plaatsen, om situaties beter aan te voelen, om pedagogisch doordachter te reageren. Jouw rol gaat verder dan het directe contact met kinderen en jongeren. Op organisatieniveau draag je bij aan een gezonde omgeving, duidelijke afspraken, veiligheid en preventie. Op maatschappelijk niveau kunnen jouw inzichten bijdragen aan preventiecampagnes en beleidsvorming rond thema's zoals mentale gezondheidszorg en inclusie op scholen.

Tegelijk mag niet vergeten worden dat deze inzichten ook vragen kunnen oproepen. Als biologische processen zo beïnvloed worden door omgevingsfactoren, kan dat druk leggen bij ouders en opvoeders. Je wilt het goed doen, maar beseft tegelijk dat veel buiten je controle ligt. De maatschappelijke context: oorlog of vrede, vrijheid of beperking, veiligheid of onveiligheid, laat zich niet zomaar sturen. Levenservaringen zoals trauma, verwaarlozing, honger, of net overvloed aan liefde en zorg, laten sporen na. Geen enkele opvoeder kan aan alle noden tegelijk tegemoetkomen. Bovendien is inzicht verwerven in iemands biologische rugzak allesbehalve eenvoudig: noden veranderen voortdurend, en voor je ze volledig doorgrond hebt, ben je misschien al een fase verder.

Dit boek richt zich in eerste instantie tot jeugd- en sociaal professionals maar ook tot ouders en andere betrokkenen bij de opvoeding van kinderen en jongeren. Niet om de rol van ouders te minimaliseren, maar integendeel om het gewicht dat vaak op hun schouders rust mee te dragen. Het is onmogelijk dat ouders alle kennis over biologie en gedrag bezitten. Ouderschap vraagt geen wetenschappelijke expertise, maar liefde, nabijheid, en bereidheid tot groei. Opvoeden zien we als een gedeelde verantwoordelijkheid, waarin ouders, professionals, organisaties en beleid samen het beste kader proberen te creëren voor kinderen en jongeren.

Als professional wordt er wel geacht dat je beschikt over inzicht, onderbouwde kennis en een brede blik op gedrag en ontwikkeling. Dit boek reikt jou daarvoor de nodige handvatten aan vanuit biologisch perspectief. En tegelijk herinnert het eraan: liefde blijft de kern. Want hoeveel je ook weet, het is vooral de manier waarop je kijkt, nabij bent en vertrouwen geeft, die het grootste verschil maakt.

Begrijpen wat er in iemand leeft, begint met écht zien wat er onder de oppervlakte gebeurt.



INSPIRATIE

Boek: Robert Sapolsky. *Behave*.⁴

TED-talk: Robert Sapolsky. *The biology of our best and worst selves*.⁵

ENKELE KERNBODSCHAPPEN UIT DIT BOEK OM MEE TE NEMEN ALS SOCIAAL- EN JEUGDPROFESSIONAL

Inzicht in het lichaam vergroot je handelingsbekwaamheid

Door de basiswerking van de verschillende stelsels zoals de bloedsomloop, de ademhaling, de hormoonhuishouding en de spijsvertering te begrijpen, kun je sneller signaleren, beter reageren op alarmsymptomen en doelgericht ondersteunen.

Uitleg biedt rust en versterkt zelfregie

Kinderen en jongeren voelen zich vaak onzeker of angstig bij lichamelijke klachten. Als je helder en laagdrempelig kunt uitleggen wat er in hun lichaam gebeurt (bv. bij flauwvallen, stress, groei of angst), geef je hun houvast, erkenning en vertrouwen.

Gedrag is nooit los te zien van biologische processen

Gedrag van kinderen en jongeren, zoals vermoeidheid, prikkelbaarheid, stress, teruggetrokkenheid of impulsiviteit, komt mee voort uit lichamelijke processen. Denk aan hormonale schommelingen, ademhalingsproblemen, spijsverteringsstoornissen en verstoringen in het afweersysteem.

Biologische kennis ondersteunt een milde, begripvolle benadering

Wanneer je weet dat bepaald gedrag, zoals stemmingswisselingen of terugtrekgedrag (deels) verklaarbaar is vanuit bijvoorbeeld hormonale of neurologische processen, ben je minder snel geneigd tot oordelen. Je kijkt met meer begrip én gerichtheid.

De omgeving beïnvloedt het lichaam en dus het gedrag

Ongezonde voeding, stress, onveilige thuissituaties of verwaarlozing hebben niet alleen een psychologische, maar ook een lichamelijke impact. Ze kunnen het immuunsysteem verzwakken, hormonale disbalans veroorzaken, het epigenetisch profiel veranderen of neurologische veranderingen teweegbrengen, met langdurige gevolgen.

Preventie en gezonde keuzes beginnen met bewustwording

Je kunt als professional bijdragen aan het stimuleren van gezonde leefstijlkeuzes (bv. voldoende beweging, gezonde voeding, goede slaap en stressreductie). Niet door te moraliseren, maar door uit te leggen hoe het lichaam werkt en wat het nodig heeft om in balans te blijven.

Professionals creëren mee de 'biologische context' van een kind

Door een veilige, voorspelbare, liefdevolle en stimulerende omgeving te bieden, beïnvloed je niet alleen het welbevinden van het kind nu, maar ook de lichamelijke ontwikkeling en gezondheid op de lange termijn.

“ A behavior occurs because of the interaction between genes and environment, not one or the other. ”

Robert Sapolsky, neurowetenschapper

DEEL 1: (EPI)GENETICA

DEEL 1:

(EPI)GENETICA

Ons lichaam en brein vormen samen een complex en dynamisch geheel waarin **genetische aanleg en omgevingsinvloeden** voortdurend op elkaar inwerken. Gedrag is geen toeval, maar het zichtbare resultaat van biologische processen die gestuurd worden door **erfelijkheid én ervaring**.

Als jeugdprofessional zie je dagelijks hoe kinderen en jongeren verschillend reageren op dezelfde omstandigheden. Waarom lijken sommige kinderen sterk op hun ouders, terwijl anderen opvallend verschillen van hun broers of zussen? Hoe komt het dat twee jongeren met een vergelijkbare achtergrond elk een andere weg inslaan? En wat kun jij als begeleider hierin betekenen?

In dit eerste deel van het boek duiken we in de wereld van **genetica en epigenetica**: de wetenschap van erfelijkheid en de invloed van de omgeving op onze genen. We beginnen bij de basis: hoe is erfelijkheid ontdekt, hoe werkt DNA, en wat betekent dit vandaag de dag in jouw werkveld?

De geschiedenis van de genetica begint bij Gregor Mendel, die rond 1860 de **wetten van overerving** beschreef aan de hand van zijn experimenten met erwtenplanten. Hij legde hiermee de basis voor onze kennis over dominante en recessieve eigenschappen. Enkele jaren later, in 1869, ontdekte de Zwitserse arts en bioloog Friedrich Miescher een stof in de celkern die later bekend zou worden als **DNA**. Pas in 1953 werd de structuur van dit DNA-molecuul ontrafeld door James Watson en Francis Crick: de beroemde **dubbele helix**.

Deze ontdekkingen vormden de aanloop naar het **Human Genome Project (HGP)**, een grootschalig internationaal onderzoeksproject dat in 1990 van start ging en in 2003 voltooid werd. Het doel? Het volledig in kaart brengen van de menselijke genetische code, drie miljard basenparen die samen de blauwdruk van ons lichaam vormen. Dankzij deze kennis begrijpen we nu beter welke genen betrokken zijn bij