

# KREBS

ALS STOFFWECHSELKRANKHEIT



NEUE PERSPEKTIVEN AUF  
ENERGIE, ERNÄHRUNG UND TUMORBIOLOGIE

DETLEF SCHULZ

# Krebs als Stoffwechselkrankheit

Neue Perspektiven auf Energie, Ernährung und Tumorbiologie

Detlef Schulz

mit Hermann Bense

1. Auflage

Juni 2026

Leipzig · Dortmund

bense.com Verlagsgesellschaft  
für digitales Publizieren mbH

Dortmund · [www.bense.com](http://www.bense.com)

## Was bedeutet MONA?

MONA steht in diesem Buch für:

**MONA = Metabolic Oncology & Nutritional Approaches**

Auf Deutsch lässt sich das ungefähr übersetzen als:

*Metabolische Onkologie und ernährungsbezogene Ansätze*

Der Begriff beschreibt dabei keine einzelne Therapie und auch kein starres medizinisches System. MONA versteht sich vielmehr als eine offene metabolische Perspektive auf Krebs und den menschlichen Organismus.

Im Mittelpunkt steht die Idee, dass Tumoren nicht isoliert außerhalb des Körpers entstehen, sondern mitten innerhalb komplexer biologischer Zusammenhänge aus: Stoffwechsel, Entzündungen, Mitochondrien, Immunreaktionen, Ernährung, Hormonsystemen, Rhythmen und metabolischer Stabilität.

MONA betrachtet Krebs deshalb weniger als reinen Einzeldefekt und stärker als Teil eines dynamischen biologischen Gesamtsystems.

Das Buch versteht sich ausdrücklich nicht als dogmatische Wahrheit oder als Sammlung einfacher Heilversprechen. Viele der beschriebenen Zusammenhänge befinden sich weiterhin im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess. MONA soll deshalb vor allem helfen, den inneren biologischen Maschinenraum des Menschen aus einer erweiterten metabolischen Perspektive sichtbar zu machen.

Oder einfacher gesagt: Der Mensch lebt nicht neben seinem Stoffwechsel. Er lebt mitten in ihm.

MONA basiert auf sechs miteinander verbundenen Perspektiven auf Gesundheit, Stoffwechsel und Tumorbilogie. Die folgende Übersicht zeigt die grundlegende Struktur des Buches.

**Entstehung des Projekts** Dieses Buch entstand nicht allein aus wissenschaftlichem Interesse. Ausgangspunkt war die langjährige Begleitung einer mir nahestehenden Person während einer Krebserkrankung — ein Prozess, der über Jahre Beobachtungen, Erfahrungen, medizinische Informationen und Literatur zusammenführte. Daraus wuchs schrittweise das Interesse an Stoffwechsel, Entzündung, Mikrobiom, Umweltfaktoren und Tumorbilogie als zusammenhängende Landschaft.

Ziel dieses Buchs ist Orientierung, Verständnis und Wissensvermittlung — nicht die Erhebung einfacher Heilversprechen und nicht die Behauptung konkreter Therapieerfolge. Es soll helfen, Zusammenhänge sichtbar zu machen, ohne medizinisch problematische Versprechen zu erzeugen.

**Zwei Autorenperspektiven** MONA verbindet zwei komplementäre Herangehensweisen:

**Detlef Schulz** bringt praktische Erfahrungen, kontinuierliche Recherche und Dokumentation ein — besonders zu Umwelt- und Gesundheitsthemen im Kontext eines komplexen Erkrankungsverlaufs.

**Hermann Bense** trägt die Perspektive der Wissensmodellierung bei: Ontologien, Strukturierung komplexer Wissensräume und semantische Rekonstruktion biologischer Zusammenhänge.

Gemeinsam entstand daraus ein Buch, das persönliche Motivation, wissenschaftliche Recherche und systematische Aufbereitung verbindet — ohne ausführliche Biografien und ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

# DIE SECHS SÄULEN VON MONA

Unser ganzheitlicher Ansatz gegen Krebs – verstehen, stärken und heilen.



**MONA verbindet aktuelle Wissenschaft mit praktischer Erfahrung.**  
Für Prävention, Therapiebegleitung und nachhaltige Gesundheit.

Abbildung 1.: Die sechs Säulen von MONA. Übersicht der sechs miteinander verbundenen Perspektiven, auf denen dieses Buch aufbaut.

# Impressum

## MONA

Krebs als Stoffwechselkrankheit

Neue Perspektiven auf Stoffwechsel,  
Entzündung, Mikrobiom und Tumorbilogie

## Autoren

Detlef Schulz, Leipzig

Hermann Bense, Dortmund

## Auflage

1. Auflage, Juni 2026

## Hinweis zur Verantwortung

Dieses Buch dient ausschließlich der Information, Reflexion und persönlichen Orientierung. Es ersetzt keine medizinische Diagnose, Beratung oder Behandlung. Alle Inhalte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Dennoch übernehmen Autoren und Verlag keine Haftung für Schäden oder Nachteile, die direkt oder indirekt aus der Anwendung oder Interpretation der dargestellten Inhalte entstehen.

## KI-gestützte Produktionserklärung

Dieses Werk entstand unter Einsatz generativer KI-Systeme, insbesondere ChatGPT (OpenAI) und Cursor AI.

Die Systeme wurden zur Strukturierung, Rechercheunterstützung, Textproduktion, sprachlichen Überarbeitung sowie technischen Publikationsvorbereitung eingesetzt.

Die inhaltliche Verantwortung, fachliche Prüfung, Auswahl, Gewichtung und Freigabe sämtlicher Inhalte liegt ausschließlich bei den Autoren Detlef Schulz und Hermann Bense.

## Urheberrecht

© 2026 Detlef Schulz und Hermann Bense

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung der Rechteinhaber vervielfältigt, gespeichert oder verbreitet werden — weder elektronisch noch mechanisch oder fotografisch.

**Hinweis zu Marken und Produktnamen**

Alle genannten Produktnamen, Marken oder medizinischen Verfahren sind Eigentum ihrer jeweiligen Rechteinhaber. Die Erwähnung erfolgt ausschließlich zu Informations- und Diskussionszwecken.

**Verlag**

bense.com Verlagsgesellschaft für digitales Publizieren mbH

Dortmund

[www.bense.com](http://www.bense.com)

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Impressum</b>                                                    | <b>v</b>  |
| <br>                                                                |           |
| <b>I. Was jetzt für Sie wichtig ist</b>                             | <b>1</b>  |
| <br>                                                                |           |
| <b>1. Orientierung nach der Diagnose</b>                            | <b>2</b>  |
| 1.1. Diagnose Krebs . . . . .                                       | 3         |
| 1.2. Wann sollte man zum Arzt gehen? . . . . .                      | 8         |
| Was Sie konkret tun können . . . . .                                | 10        |
| Was Sie sich merken sollten . . . . .                               | 10        |
| 1.3. Grundlagen der Krebsdiagnostik . . . . .                       | 11        |
| Was Sie konkret tun können . . . . .                                | 13        |
| Was Sie sich merken sollten . . . . .                               | 14        |
| 1.4. Früherkennung und Vorsorge . . . . .                           | 14        |
| Was Sie sich merken sollten . . . . .                               | 16        |
| 1.5. Differenzialdiagnose — nicht jeder Befund ist Krebs . . . . .  | 17        |
| Was Sie sich merken sollten . . . . .                               | 19        |
| 1.6. Typische Patientenpfade — Was passiert als Nächstes? . . . . . | 19        |
| Was Sie sich merken sollten . . . . .                               | 22        |
| <br>                                                                |           |
| <b>2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen</b>                        | <b>24</b> |
| 2.1. Operation und Bestrahlung . . . . .                            | 25        |
| 2.2. Chemotherapie und Zytostatika . . . . .                        | 28        |
| 2.3. Immuntherapie und Antikörper . . . . .                         | 31        |
| 2.4. Hyperthermie . . . . .                                         | 35        |
| 2.5. Stammzelltherapie und experimentelle Verfahren . . . . .       | 37        |
| 2.6. Ernährung und Stoffwechseltherapie . . . . .                   | 40        |
| 2.7. Naturstoffe und sekundäre Pflanzenstoffe . . . . .             | 43        |
| 2.8. Vitamine, Mikronährstoffe und Enzyme . . . . .                 | 46        |
| 2.9. Fasten, Ketose und metabolische Interventionen . . . . .       | 48        |
| 2.10. Personalisierte Medizin und Zukunftsmodelle . . . . .         | 51        |
| Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels . . . . .              | 53        |
| Was Sie konkret tun können . . . . .                                | 54        |

|                                                                   |                |
|-------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>3. Alltag, Ernährung, Bewegung und Psyche</b>                  | <b>55</b>      |
| 3.1. Bewegung, Sauerstoff und körperliche Aktivität . . . . .     | 56             |
| 3.2. Schlaf, Regeneration und biologische Rhythmen . . . . .      | 58             |
| 3.3. Psyche, Stress und systemische Belastung . . . . .           | 62             |
| 3.4. Ernährung zwischen Hoffnung und Realität . . . . .           | 64             |
| 3.5. Der Patient zwischen Angst und Hoffnung . . . . .            | 66             |
| <br><b>II. Die häufigsten Krebsarten verstehen</b>                | <br><b>69</b>  |
| <b>4. Die häufigsten Krebsarten verstehen</b>                     | <b>70</b>      |
| 4.1. Brustkrebs . . . . .                                         | 74             |
| 4.2. Darmkrebs . . . . .                                          | 79             |
| 4.3. Lungenkrebs . . . . .                                        | 85             |
| 4.4. Prostatakrebs . . . . .                                      | 90             |
| 4.5. Leberkrebs . . . . .                                         | 93             |
| 4.6. Bauchspeicheldrüsenkrebs . . . . .                           | 95             |
| 4.7. Hautkrebs und UV-Schäden . . . . .                           | 97             |
| 4.8. Eierstockkrebs . . . . .                                     | 100            |
| 4.9. Blutkrebs und Leukämie . . . . .                             | 102            |
| 4.10. Hirntumore . . . . .                                        | 106            |
| Was Sie sich merken sollten . . . . .                             | 109            |
| Was Sie konkret tun können . . . . .                              | 109            |
| 4.11. Metastasen und systemische Ausbreitung . . . . .            | 109            |
| 4.12. Krebs bei Kindern und jungen Menschen . . . . .             | 112            |
| Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels . . . . .            | 114            |
| Was Sie konkret tun können . . . . .                              | 115            |
| <br><b>III. Hintergrundwissen</b>                                 | <br><b>116</b> |
| <b>5. Begriffliche Orientierung (Nachschlage-Einstieg)</b>        | <b>117</b>     |
| 5.1. Basis-Terminologie des biologischen Maschinenraums . . . . . | 118            |
| 5.2. Lesehinweis zur semantischen Rekonstruktion . . . . .        | 120            |
| Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels . . . . .            | 122            |
| Was Sie konkret tun können . . . . .                              | 122            |
| <br><b>6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen</b>   | <br><b>123</b> |
| 6.1. Krebs als Stoffwechselkrankheit . . . . .                    | 124            |
| 6.2. Krebsursache Chemikalien . . . . .                           | 127            |
| 6.3. Krebsursache Viren, Bakterien und Mikroparasiten . . . . .   | 131            |
| 6.4. Krebsursache ionisierende Strahlung . . . . .                | 135            |

|                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.5. Krebsursache Stress . . . . .                                          | 139        |
| 6.6. Epigenetik und Umwelt . . . . .                                        | 141        |
| Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels . . . . .                      | 145        |
| Was Sie konkret tun können . . . . .                                        | 146        |
| <b>7. Entstehung und Tumorbilogie</b>                                       | <b>147</b> |
| 7.1. Erbgut und Reparaturmechanismen . . . . .                              | 148        |
| 7.2. Zellatmung und Mitochondrien . . . . .                                 | 151        |
| 7.3. Warburg-Effekt . . . . .                                               | 158        |
| 7.4. Hypoxie und HIF . . . . .                                              | 162        |
| 7.5. Zellen in Bewegung . . . . .                                           | 167        |
| 7.6. Metastasen und Invasion . . . . .                                      | 168        |
| 7.7. Tumormikromilieu . . . . .                                             | 171        |
| 7.8. Angiogenese . . . . .                                                  | 175        |
| 7.9. Apoptose, Autophagie und Telomere . . . . .                            | 177        |
| 7.10. Hormone, Enzyme und Transkriptionsfaktoren . . . . .                  | 182        |
| Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels . . . . .                      | 184        |
| Was Sie konkret tun können . . . . .                                        | 185        |
| <b>8. Metabolische Vertiefung: Zucker, Entzündung, Mikrobiom</b>            | <b>186</b> |
| 8.1. Zucker und Glukosestoffwechsel . . . . .                               | 187        |
| 8.2. Insulin und hormonelle Signallräume . . . . .                          | 189        |
| 8.3. Entzündung, oxidativer Stress und Zellmilieu . . . . .                 | 192        |
| 8.4. Mitochondrien und Zellatmung . . . . .                                 | 197        |
| 8.5. Mikrobiom, Darmflora und Krebs . . . . .                               | 199        |
| 8.6. Umweltgifte, Schadstoffe und Zivilisationsstress . . . . .             | 201        |
| 8.7. Metabolische Landschaften und die Zukunft der Krebsforschung . . . . . | 204        |
| Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels . . . . .                      | 206        |
| Was Sie konkret tun können . . . . .                                        | 207        |
| <b>9. Integration, Grenzen und Ausblick</b>                                 | <b>208</b> |
| 9.1. Krebs als Systemerkrankung . . . . .                                   | 209        |
| 9.2. Wissenschaft, Hoffnung und Verantwortung . . . . .                     | 211        |
| 9.3. Der Mensch im metabolischen Zeitalter . . . . .                        | 213        |
| 9.4. Schlussbetrachtung . . . . .                                           | 215        |
| 9.5. Epilog – Der biologische Maschinenraum . . . . .                       | 217        |
| 9.6. Das offene Ende der Krebsforschung . . . . .                           | 219        |
| 9.7. MONA-Manifest – Eine neue Sicht auf Krebs . . . . .                    | 221        |
| 9.8. Nachwort von Detlef Schulz . . . . .                                   | 223        |
| 9.9. Ausblick – Die kommende metabolische Medizin . . . . .                 | 224        |
| 9.10. Die offene Frage des Lebens . . . . .                                 | 226        |
| 9.11. Das metabolische Paradigma . . . . .                                  | 228        |

## *Inhaltsverzeichnis*

|                                                         |            |
|---------------------------------------------------------|------------|
| 9.12. Der letzte Blick in den Maschinenraum . . . . .   | 230        |
| 9.13. Jenseits der Tumorlogik . . . . .                 | 231        |
| 9.14. MONA als offene Landkarte . . . . .               | 233        |
| 9.15. Der stille Kampf des Organismus . . . . .         | 235        |
| 9.16. Die Grenzen der Medizin . . . . .                 | 237        |
| 9.17. Das metabolische Gedächtnis des Körpers . . . . . | 239        |
| 9.18. Finale Landkarte des inneren Menschen . . . . .   | 241        |
| Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels . . . . .  | 243        |
| Was Sie konkret tun können . . . . .                    | 243        |
| <b>10. Schlusswort der Autoren</b>                      | <b>245</b> |
| Was Sie sich merken sollten . . . . .                   | 248        |
| <b>Glossar und semantische Begriffskarten</b>           | <b>249</b> |
| <b>Medizinisches Vokabelheft</b>                        | <b>255</b> |
| <b>Personenindex</b>                                    | <b>282</b> |
| <b>Sachindex</b>                                        | <b>283</b> |
| <b>MONA-Bildatlas</b>                                   | <b>285</b> |

## Teil I.

Was jetzt für Sie wichtig ist

# 1. Orientierung nach der Diagnose

## Neue Begriffe dieses Kapitels

Diagnose=Feststellung(Krankheit)

Warnsymptom=Hinweis(Koerper)

Patientenpfad=Weg(Entscheidung)

### Ihr Nutzen

Nach diesem Kapitel wissen Sie ...

- was eine Krebsdiagnose praktisch bedeuten kann,
- welche Warnzeichen und Untersuchungen typisch sind,
- wie Sie Gespräche und nächste Schritte vorbereiten.

### Wann ist das wichtig?

Direkt nach der Diagnose, vor großen Therapieentscheidungen und bei unklaren Beschwerden.

### Was Sie sich merken sollten

- Die Diagnose ist ein Ausgangspunkt — nicht das Ende der Orientierung.
- Warnzeichen und Dringlichkeit gehören früh geklärt.
- Gute Fragen und eine zweite Meinung sind legitim.

## 1. Orientierung nach der Diagnose

### Fragen für Ihren Arzt

- Was genau wurde festgestellt — und wie sicher ist das?
- Wie dringend ist der nächste Schritt?
- Welche Untersuchungen stehen als Nächstes an?
- Wer ist mein Ansprechpartner im Behandlungsteam?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

### Sofort handeln, wenn ...

Plötzliche starke Verschlechterung, Atemnot, neu aufgetretene neurologische Ausfälle, unstillbare Blutungen oder Bewusstseinsstörungen — sofort medizinische Hilfe.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

### Vertiefung

Biologische Hintergründe und Ursachenmodelle finden Sie in Teil III (Hintergrundwissen).

Krebs beginnt für die meisten Menschen nicht als biologisches Konzept, sondern als Erschütterung. Ein Satz im Arztzimmer. Ein Schatten auf einem Monitor. Ein Befund, der plötzlich alles verändert. Dieses Kapitel sammelt deshalb zuerst die Abschnitte, die Ihnen helfen, die Situation einzuordnen und handlungsfähig zu bleiben — ohne den wissenschaftlichen Hintergrund zu ersetzen.

*Leitmotiv — Krebs als Störung biologischer Regulationsräume:* Zuerst Orientierung und nächste Schritte — Vertiefung folgt, sobald Sie handlungsfähig sind.

## 1.1. Diagnose Krebs

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Tumormarker=Messwert(Tumorhinweis)

Bildgebung=Verfahren(Körperansicht)

PET=Untersuchung(Stoffwechselbild)

Histologie=Untersuchung(Gewebeprobe)

## 1. Orientierung nach der Diagnose

### WarburgEffekt=Effekt(Warburg)

Die Diagnose Krebs gehört bis heute zu den emotional und biologisch einschneidendsten Erfahrungen des menschlichen Lebens. Kaum ein anderes Wort besitzt eine vergleichbare existenzielle Wucht. Für viele Betroffene beginnt mit der Diagnose nicht nur eine medizinische Behandlung, sondern eine Phase tiefgreifender körperlicher, psychischer und sozialer Veränderungen. Gleichzeitig zeigt die moderne Krebsforschung immer deutlicher, dass hinter dem Sammelbegriff „Krebs“ keine einzelne Krankheit steht, sondern eine Vielzahl hochkomplexer biologischer Prozesse mit sehr unterschiedlichen Ursachen, Verlaufsformen und Stoffwechsellmustern.

**Die lange Vorgeschichte eines Tumors** Die Entstehung eines Tumors verläuft in den meisten Fällen über lange Zeiträume hinweg nahezu unbemerkt. Erste Veränderungen beginnen häufig Jahre oder sogar Jahrzehnte vor einer klinischen Diagnose. Einzelne Zellen verlieren schrittweise ihre normale Regulationsfähigkeit, verändern ihre Energiegewinnung, entziehen sich Kontrollmechanismen des Immunsystems und passen ihren Stoffwechsel an neue Umweltbedingungen an (Hanahan & Weinberg, 2011; Seyfried, 2012). Krebs entsteht daher selten plötzlich, sondern entwickelt sich meist als dynamischer Prozess biologischer Fehlanpassungen innerhalb komplexer zellulärer Netzwerke.

Die moderne Diagnostik versucht, solche Veränderungen möglichst frühzeitig sichtbar zu machen. Zum Einsatz kommen heute bildgebende Verfahren wie Computertomographie, Magnetresonanztomographie oder Positronen-Emissions-Tomographie ebenso wie histologische Untersuchungen, molekulare Analysen und genetische Tests. Gleichzeitig gewinnen metabolische Marker zunehmend an Bedeutung. Viele Tumoren weisen charakteristische Veränderungen des Zuckerstoffwechsels, der Sauerstoffverwertung und der mitochondrialen Funktion auf, die diagnostisch genutzt werden können (Warburg, 1956).

**Der Stoffwechsel als diagnostisches Fenster** Besonders auffällig ist der häufig erhöhte Glukoseverbrauch vieler Krebszellen. Bereits Otto Warburg beobachtete in den 1920er Jahren, dass Tumorzellen selbst unter Sauerstoffversorgung verstärkt auf Glykolyse zurückgreifen und Glukose ineffizient verstoffwechseln (Warburg, 1956). Dieser sogenannte Warburg-Effekt bildet bis heute eine zentrale Grundlage metabolischer Krebsdiagnostik. Verfahren wie die FDG-PET machen sich genau diesen erhöhten Zuckerstoffwechsel zunutze, indem radioaktiv markierte Glukose in stoffwechselaktive Tumorregionen eingebracht wird.

## 1. Orientierung nach der Diagnose

### Was ist eine PET-Untersuchung?

Eine PET (Positronen-Emissions-Tomographie) macht stoffwechselaktive Gewebe sichtbar — häufig mit radioaktiv markiertem Zucker (FDG). Brauchbare Bereiche leuchten stärker auf dem Bild. Die Untersuchung hilft bei der Einordnung von Tumoren und Metastasen; sie ersetzt keine Gewebeprobe (Biopsie). Befunde müssen immer von Fachärztinnen und Fachärzten interpretiert werden.

### Was ist ein Tumormarker?

Tumormarker sind messbare Stoffe im Blut oder Gewebe (z. B. bestimmte Proteine), die bei manchen Krebsarten erhöht sein können. Sie unterstützen Verlaufskontrolle oder Diagnostik — sind aber selten allein beweisend. Ein normaler Wert schließt Krebs nicht aus; ein auffälliger Wert erfordert weitere Abklärung.

Doch die Diagnose Krebs umfasst weit mehr als die reine Identifikation eines Tumors. Für Betroffene beginnt häufig ein komplexer Prozess der Orientierung zwischen medizinischen Informationen, Therapieentscheidungen, Hoffnungen und Ängsten. Die enorme Menge widersprüchlicher Informationen im Internet, unterschiedliche therapeutische Ansätze sowie kontroverse Diskussionen zwischen Schulmedizin und komplementären Verfahren erschweren vielen Patienten zusätzlich die Einordnung ihrer Situation.

### Patientenfrage: Muss ich sofort mit der Therapie beginnen?

Bei vielen Krebsarten gibt es ein zeitliches Fenster für Abklärungen — aber nicht immer viel Zeit. Fragen Sie konkret: *Wie dringend ist der Beginn? Welche Untersuchungen stehen noch aus? Gibt es Platz für eine Zweitmeinung?* Bei akuten Situationen (z. B. drohende Kompression wichtiger Strukturen) kann Eile medizinisch begründet sein — das sollte Ihnen verständlich erklärt werden.

Keine Therapieempfehlung — Orientierung für Gespräche mit behandelnden Ärztinnen und Ärzten.

### Patientenfrage: Sollte ich eine Zweitmeinung einholen?

Eine Zweitmeinung ist bei schwerwiegenden Diagnosen oft sinnvoll und in Deutschland häufig über Krankenkassen oder Tumorzentren möglich. Bringen Sie alle Befunde mit. Ziel ist nicht „den besseren Arzt“, sondern Sicherheit und Verständnis der Therapieempfehlung.

Keine Therapieempfehlung — Orientierung für Gespräche mit behandelnden Ärztinnen und Ärzten.

## 1. Orientierung nach der Diagnose

### Patientenfrage: Was bedeutet mein Befundbericht?

Typische Bestandteile: Krebsart (Histologie), Lokalisation, Größe, Verbreitung (Stadium), Rezeptorstatus oder molekulare Marker. Bitten Sie um eine verständliche mündliche Zusammenfassung und lassen Sie sich unklare Abkürzungen erklären — gern schriftlich nach dem Gespräch.

Keine Therapieempfehlung — Orientierung für Gespräche mit behandelnden Ärztinnen und Ärzten.

### Fallbeispiel: Die Diagnosemitteilung

Ein 58-jähriger Mann hört zum ersten Mal das Wort „Karzinom“. Er erinnert sich an den Tonfall, nicht an die Details. Zu Hause recherchiert er panisch. Beim nächsten Termin bringt er eine Liste mit Fragen mit und bittet seine Tochter, mitzuhören. Erst dann versteht er: operabel, kein Fernbefund, Tumorboard in einer Woche — und dass er bis dahin keinen sofortigen Behandlungsstart braucht.

Kein Einzelfall aus der Praxis; keine Heilungsaussage.

**Die biologische Vielfalt des Krebses** Krebs ist biologisch außerordentlich heterogen. Selbst Tumoren desselben Organs können sich genetisch, immunologisch und metabolisch erheblich unterscheiden. Zwei Brusttumoren oder zwei Darmkarzinome können vollkommen unterschiedliche Wachstumsdynamiken, Stoffwechselprofile und Therapieansprechen aufweisen. Moderne Onkologie bewegt sich deshalb zunehmend weg von standardisierten Behandlungsschemata hin zu personalisierten und systemorientierten Therapieansätzen (Hanahan, 2022).

Parallel dazu wächst das wissenschaftliche Interesse an den Zusammenhängen zwischen Ernährung, Entzündung, Umweltfaktoren, Mikrobiom, Stoffwechsel und Tumorentwicklung. Krebs wird heute nicht mehr ausschließlich als genetische Erkrankung betrachtet, sondern zunehmend als systemische Regulations- und Stoffwechselstörung verstanden. Insbesondere mitochondriale Prozesse, Zellatmung, Immunreaktionen und metabolische Anpassungsmechanismen rücken dabei immer stärker in den Mittelpunkt der Forschung (Seyfried, 2012).

# DIE METABOLISCHE GESAMTKARTE

DAS ZUSAMMENSPIEL ALLER SYSTEME FÜR GESUNDHEIT, LEISTUNG UND LANGLEBIGKEIT

• ENERGIE • INFORMATION • STOFFWECHSEL • KOMMUNIKATION • REPARATUR • SCHUTZ • ANPASSUNG • EVOLUTION



Die metabolische Gesamtkarte

## 1. Orientierung nach der Diagnose

**Diagnose als Wendepunkt** Die Diagnose Krebs markiert daher nicht nur den Beginn einer medizinischen Behandlung, sondern häufig auch den Beginn eines erweiterten biologischen Verständnisses des eigenen Körpers. Viele Patienten beginnen erstmals, sich intensiver mit Ernährung, Stoffwechsel, Umweltbelastungen, Entzündungsprozessen und Lebensstilfaktoren auseinanderzusetzen. Damit wird die Diagnose zugleich zu einem Punkt tiefgreifender Konfrontation mit der Frage, unter welchen biologischen Bedingungen Gesundheit, Stabilität und zelluläre Ordnung überhaupt langfristig möglich bleiben.

### 1.2. Wann sollte man zum Arzt gehen?

Viele Krebserkrankungen beginnen mit unspezifischen Symptomen — Müdigkeit, leichte Beschwerden, subtile Veränderungen. Das macht Selbstdiagnose unmöglich und rechtfertigt weder Panik noch Ignorieren. Orientierungshilfe: Wann lohnt sich ein Arztbesuch zeitnah? (World Health Organization, [2025](#); World Cancer Research Fund & American Institute for Cancer Research, [2018](#); DeVita u. a., [2019](#))

**Grundregel: Persistenz und Veränderung** Ein einmaliges Symptom ist oft harmlos. Wichtig werden Beschwerden, die *länger anhalten* (oft mehr als zwei bis vier Wochen), *schlimmer werden* oder *ohne erklärbare Ursache* auftreten. Im Zweifel gilt: lieber einmal zu viel abklären als wichtige Warnzeichen zu übersehen. Der Hausarzt ist meist der richtige erste Ansprechpartner.

#### Häufige Warnsignale — ohne Panik, aber ernst nehmen

**Ungewollter Gewichtsverlust** Wer ohne Diät oder mehr Bewegung deutlich abnimmt (z. B. mehr als fünf Kilogramm in wenigen Monaten), sollte das ärztlich prüfen lassen. Ursachen reichen von Schilddrüsenüberfunktion über Diabetes bis zu Tumorerkrankungen — die Abklärung ist meist schrittweise.

#### Blutungen und Blutbeimengungen

- **Blut im Stuhl** (rot oder schwarz/teerartig) — immer abklären; auch Hämorrhoiden schließen Darmkrebs nicht aus.
- **Blut im Urin** — kann harmlos, kann aber auch an Nieren, Blase oder Prostata erinnern.
- **Ungewöhnliche Blutungen** außerhalb der Regelblutung, nach der Menopause oder aus anderen Körperöffnungen.
- **Husten mit Blut** — zeitnah ärztlich vorstellen.

## 1. Orientierung nach der Diagnose

**Anhaltender Husten und Atembeschwerden** Ein Husten, der länger als drei bis vier Wochen anhält — besonders mit Blut, Gewichtsverlust oder Luftnot — sollte abgeklärt werden. Raucher und Ex-Raucher haben ein höheres Risiko für Lungenkrebs; das rechtfertigt frühere Diagnostik (DeVita u. a., 2019).

**Schluckstörungen und anhaltende Verdauungsbeschwerden** Neue oder zunehmende Schluckbeschwerden, anhaltendes Sodbrennen, wiederholtes Erbrechen oder deutliche Veränderung des Stuhlgangs (Durchfall und Verstopfung im Wechsel, Bleistiftstuhl) verdienen Aufmerksamkeit — besonders ab dem mittleren Lebensalter.

**Tastbare Knoten und Schwellungen** Neue, harte oder wachsende Knoten in Brust, Hoden, Schilddrüse oder an Lymphknoten (Hals, Achsel, Leiste) sollten zeitnah untersucht werden. Nicht jeder Knoten ist bösartig — aber die Unterscheidung gehört in fachliche Hände.

**Hautveränderungen** Achten Sie auf die ABCDE-Regel bei Muttermalen: **A**symmetrie, **B**order (unregelmäßiger Rand), **C**olor (uneinheitliche Farbe), **D**iameter (größer als etwa fünf Millimeter), **E**volution (Veränderung). Nicht heilende Wunden, neu auftretende oder blutende Hautläsionen ebenfalls vorstellen (World Cancer Research Fund & American Institute for Cancer Research, 2018).

**Lang anhaltende Heiserkeit** Heiserkeit über mehr als drei Wochen — ohne Erkältung — kann Stimmband- oder andere Kehlkopfbefunde betreffen und sollte HNO-ärztlich abgeklärt werden.

### Kein Symptom beweist Krebs

Die genannten Zeichen sind *Hinweise*, keine Diagnosen. Viele davon haben harmlose Ursachen. Ihr Wert liegt darin, rechtzeitig den richtigen Untersuchungsweg einzuleiten.

### Patientenfrage: Wie schnell muss ich zum Arzt?

Bei starken Blutungen, plötzlicher Luftnot, schweren Schmerzen oder Bewusstseinsstörungen: Notfall. Bei den oben genannten Warnzeichen ohne akute Gefahr: zeitnah Termin beim Hausarzt — oft innerhalb von ein bis zwei Wochen. Schildern Sie Dauer, Verlauf und Begleitsymptome konkret.

Keine Therapieempfehlung — Orientierung für Gespräche mit behandelnden Ärztinnen und Ärzten.

## 1. Orientierung nach der Diagnose

### Fallbeispiel: Der harmlos wirkende Husten

Eine 67-jährige Nichtraucherin hustet seit sechs Wochen „nur ein bisschen“. Sie wartet auf den Frühling. Erst als sie nachts schwitzt und zwei Kilo verliert, geht sie zum Hausarzt. Die Abklärung dauert — aber sie ist froh, nicht noch länger gewartet zu haben. Die Diagnose muss noch nicht feststehen; der erste Schritt war die rechtzeitige Vorstellung.

Kein Einzelfall aus der Praxis; keine Heilungsaussage.

## Was Sie konkret tun können

*Orientierung und Selbstorganisation — keine medizinischen Anweisungen.*

Was Sie dem Arzt mitteilen sollten

- Seit wann besteht das Symptom? Wird es besser oder schlechter?
- Gibt es Auslöser (Medikamente, Ernährung, Belastung)?
- Familiäre Krebsfälle? Rauchen? Alkohol?
- Begleitsymptome: Fieber, Nachtschweiß, Gewicht, Schmerzen
- Was haben Sie bereits selbst unternommen?

## Was Sie sich merken sollten

- Beschwerden, die länger als zwei bis vier Wochen anhalten oder zunehmen, sollten abgeklärt werden.
- Ungewollter Gewichtsverlust und unerklärte Blutungen sind wichtige Warnsignale.
- Blut im Stuhl oder Urin, anhaltender Husten und Schluckstörungen: zeitnah zum Arzt.
- Neue Knoten, verdächtige Hautveränderungen und nicht heilende Wunden ernst nehmen.
- Heiserkeit über Wochen ohne Erkältung gehört in die HNO-Abklärung.
- Der Hausarzt ist der erste Ansprechpartner — er koordiniert weitere Schritte.
- Kein einzelnes Symptom beweist Krebs — aber Ignorieren ist riskanter als Abklären.
- Notfallzeichen (starke Blutung, Luftnot, Bewusstlosigkeit) erfordern sofortige Hilfe.

### 1.3. Grundlagen der Krebsdiagnostik

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Biopsie=Entnahme(Gewebeprobe)

Tumorgrading=Einstufung(Entartungsgrad)

Tumorstaging=Einstufung(Ausbreitung)

Anamnese=Gespräch(Krankheitsgeschichte)

Molekulardiagnostik=Untersuchung(Erbgut/Marker)

Wer zum ersten Mal mit dem Verdacht auf Krebs konfrontiert wird, steht häufig vor einer Flut unbekannter Begriffe: Anamnese, Staging, Biopsie, PET, Histologie. Viele Betroffene wissen nicht, welche Untersuchung wofür dient und welche Befunde wirklich entscheidend sind. Die folgenden Abschnitte ordnen den typischen diagnostischen Weg Schritt für Schritt — ohne Therapieempfehlungen, sondern als Orientierungshilfe (DeVita u. a., [2019](#); World Health Organization, [2025](#)).

**Vom ersten Gespräch zur gesicherten Diagnose** Krebsdiagnostik ist selten eine einzelne Untersuchung. Sie verbindet mehrere Ebenen: Was berichten Sie über Beschwerden und Vorgeschichte? Was zeigt die körperliche Untersuchung? Was liefern Blutwerte und Bildgebung? Und vor allem: Was sagt die mikroskopische Untersuchung von Gewebe?

**Anamnese — die Krankheitsgeschichte** Jede Abklärung beginnt mit einem ausführlichen Gespräch. Ärztinnen und Ärzte erfragen Beschwerden, deren Dauer und Verlauf, Vorerkrankungen, Medikamente, familiäre Krebsfälle, Rauchen, Alkohol und Lebensumstände. Scheinbar nebensächliche Details — etwa ungewollter Gewichtsverlust, nächtliches Schwitzen oder veränderte Stuhlgewohnheiten — können wichtige Hinweise liefern. Bereiten Sie sich vor: Notieren Sie Symptome mit Datum, bringen Sie Vorbefunde und eine Medikamentenliste mit.

**Körperliche Untersuchung** Bei der klinischen Untersuchung tasten Fachkräfte Knoten, prüfen Haut und Schleimhäute, hören Lunge und Herz ab und beurteilen gezielt verdächtige Regionen — Brust, Bauch, Lymphknoten, Haut. Viele Befunde sind harmlos; andere rechtfertigen weiterführende Diagnostik. Die Untersuchung ersetzt keine Bildgebung oder Gewebeprobe, kann aber den nächsten Schritt sinnvoll lenken.

**Laborwerte** Blutuntersuchungen liefern Hinweise auf Entzündung, Organfunktion, Blutbildveränderungen oder — bei manchen Tumorarten — erhöhte Tumormarker.

## 1. Orientierung nach der Diagnose

Wichtig: Ein normaler Laborbefund schließt Krebs nicht aus; auffällige Werte beweisen ihn selten allein. Laborwerte werden fast immer im Zusammenhang mit Anamnese, Untersuchung und weiteren Tests interpretiert (DeVita u. a., 2019).

### Was bedeuten „Tumormarker“ im Blut?

Tumormarker sind messbare Stoffe, die bei manchen Krebsarten erhöht sein können — z. B. PSA bei Prostata, CA 125 bei Eierstock oder CEA beim Darm. Sie unterstützen Verlaufskontrolle und Abklärung, sind aber selten allein beweisend. Fragen Sie: *Was soll dieser Wert bei mir aussagen? Welche Untersuchung folgt?*

**Bildgebende Verfahren** Ultraschall, Röntgen, Computertomographie (CT), Magnetresonanztomographie (MRT) und Positronen-Emissions-Tomographie (PET) machen Strukturen und manchmal Stoffwechselaktivität sichtbar. Sie helfen, Herde zu finden, zu vermessen und auf andere Organe auszustrahlen. Bildgebung kann einen Verdacht stützen — eine definitive Krebsdiagnose stellt sie in der Regel nicht. Dafür braucht es fast immer Gewebe unter dem Mikroskop.

**Histologie und Molekulardiagnostik** In der *Histologie* (Histopathologie) untersucht die Pathologie Gewebeproben mikroskopisch: Aus welcher Zellart stammt der Tumor? Wie „aggressiv“ wirkt er? Gibt es besondere Strukturen? Ergänzend kann *Molekulardiagnostik* genetische Veränderungen, Proteine oder Rezeptoren bestimmen — etwa bei Brust-, Lungen- oder Darmkrebs. Diese Informationen beeinflussen oft die Einordnung und spätere Therapieplanung im Tumorboard (DeVita u. a., 2019).

### Warum Gewebeproben oft unverzichtbar sind

**Biopsie — die Gewebeprobe** Eine *Biopsie* ist die gezielte Entnahme von Gewebe zur mikroskopischen Beurteilung. Sie kann mit feiner Nadel (stanzend), mit Endoskop (z. B. Darmspiegelung) oder operativ erfolgen. Der Eingriff ist meist kurz; lokale Betäubung ist üblich. Ohne Histologie bleibt die Diagnose oft unsicher — deshalb ist die Biopsie bei Verdacht auf Krebs ein zentraler Schritt.

### Patientenfrage: Warum reicht die Bildgebung nicht aus?

Bilder zeigen *wo* etwas auffällig ist — nicht zuverlässig *was* es ist. Entzündungen, Narben und gutartige Knoten können ähnlich aussehen wie Tumoren. Die Gewebeprobe liefert die genaue Zellart und damit die Grundlage für Staging und Therapieplanung.

Keine Therapieempfehlung — Orientierung für Gespräche mit behandelnden Ärztinnen und Ärzten.

## 1. Orientierung nach der Diagnose

**Tumorgrading — wie „bösartig“ wirkt das Gewebe?** Das *Grading* beschreibt, wie stark Tumorzellen von normalen Zellen abweichen und wie schnell sie sich teilen zu scheinen. Übliche Stufen reichen von gut differenziert (G1) bis undifferenziert (G3/G4). Ein höheres Grading bedeutet nicht automatisch „hoffnungslos“ — es ist ein Baustein der Gesamteinschätzung zusammen mit Stadium, Lokalisation und Begleiterkrankungen.

**Tumorstaging — wie weit hat sich der Tumor ausgebreitet?** Das *Staging* ordnet Größe, Lokalbefund und mögliche Fernherde (Metastasen) ein — häufig nach dem TNM-System: **T** = Tumorgröße/-ausdehnung, **N** = Lymphknoten, **M** = Fernmetastasen. Zusätzlich gibt es Stadieneinteilungen (I–IV), die für viele Krebsarten Prognose und Therapieoptionen mitbestimmen. Staging erfordert oft mehrere Untersuchungen: Bildgebung, manchmal Operation, gezielte Biopsien.

### Fallbeispiel: Nach der Biopsie

Eine 62-jährige Frau hat einen auffälligen Herd in der Mammographie. Vor der Biopsie ist sie angespannt. Die Pathologie bestätigt ein duktales Karzinom; Grading und Rezeptorstatus folgen Tage später. Erst jetzt — nicht schon nach dem ersten Röntgenbild — kann das Tumorboard einen konkreten Plan vorschlagen. Sie notiert alle Abkürzungen und lässt sie beim nächsten Termin erklären.

Kein Einzelfall aus der Praxis; keine Heilungsaussage.

### Patientenfrage: Wie lange dauert ein Pathologiebefund?

Oft einige Tage bis zwei Wochen — abhängig von Dringlichkeit, Zusatzuntersuchungen (z. B. Rezeptoren, molekulare Tests) und Laborauslastung. Fragen Sie nach einem ungefähren Zeitfenster und wer Sie bei Ergebnis informiert.

Keine Therapieempfehlung — Orientierung für Gespräche mit behandelnden Ärztinnen und Ärzten.

## Was Sie konkret tun können

*Orientierung und Selbstorganisation — keine medizinischen Anweisungen.*

Checkliste für Diagnostik-Termine

- Alle Vorbefunde, CDs/DVDs mit Bilddaten, Arztbriefe mitbringen
- Liste der Medikamente und Allergien
- Begleitperson für wichtige Gespräche erwägen

## 1. Orientierung nach der Diagnose

- Nach dem Termin: Was wurde festgestellt? Was ist der *nächste* Schritt? Bis wann Ergebnis?

### Was Sie sich merken sollten

- Krebsdiagnostik ist ein *Stufenplan* — selten eine einzelne Untersuchung.
- Anamnese und körperliche Untersuchung sind der Ausgangspunkt jeder Abklärung.
- Labor und Bildgebung liefern Hinweise; sie ersetzen meist nicht die Gewebeprobe.
- Die Histologie bestimmt die genaue Tumorart — Grundlage für Staging und Planung.
- Grading beschreibt die Zellmerkmale; Staging die Ausbreitung (TNM/Stadium).
- Fragen Sie aktiv nach: nächster Schritt, Zeitplan, Bedeutung der Abkürzungen.
- Vorbefunde und Medikamentenliste sparen Zeit und vermeiden Wiederholungen.

## 1.4. Früherkennung und Vorsorge

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Screening=Vorsorge(Suchtest)

Mammographie=Roentgen(Brustdruese)

Dermatoskopie=Untersuchung(Hautveraenderung)

Ueberdiagnose=Feststellung(Unbedenklichkeit)

Früher erkannte Krebserkrankungen sind in vielen Fällen besser behandelbar als fortgeschrittene Stadien. Gleichzeitig sind Screeningprogramme weder fehlerfrei noch für alle Krebsarten verfügbar. Dieser Abschnitt erklärt, was Vorsorge leisten kann — und wo ihre Grenzen liegen (World Health Organization, [2025](#); World Cancer Research Fund & American Institute for Cancer Research, [2018](#); Schoen u. a., [2018](#); Robert Koch-Institut und GEKID, [2023](#)).

**Warum frühe Diagnose zählt** In frühen Stadien ist ein Tumor oft kleiner, noch nicht ausgebreitet und therapeutisch besser zugänglich. Das gilt nicht für jede Krebsart gleich — manche wachsen langsam und unauffällig, andere aggressiv. Früherkennung verbessert *statistisch* die Heilungschancen bei vielen, aber nicht bei allen Entitäten. Entscheidend bleibt: der konkrete Tumortyp, das individuelle Stadium und die Gesamtsituation.

**Grenzen von Screening — Überdiagnose und verpasste Befunde** *Screening* bedeutet: Gesunde oder asymptomatische Menschen werden systematisch auf versteckte Krebszeichen untersucht — z. B. Mammographie oder Darmspiegelung. Zwei Probleme sind wichtig:

- **Verpasste Diagnosen:** Kein Test ist hundertprozentig sensitiv. Kleine oder ungewöhnliche Herde können übersehen werden.
- **Überdiagnose:** Manchmal werden Veränderungen gefunden, die nie zu Beschwerden geführt hätten — besonders diskutiert bei Prostata-PSA und manchen Schilddrüsen- oder Brustbefunden (Schoen u. a., 2018; Welch u. a., 2016).

### Screening ist kein Garant

Ein unauffälliger Vorsorgebefund ist beruhigend — er schließt Krebs nicht zu hundert Prozent aus. Umgekehrt: Ein auffälliger Befund bedeutet nicht automatisch Krebs. Fast immer folgen weiterführende Abklärungen.

**Häufige Vorsorgeuntersuchungen in Deutschland** Die folgende Übersicht ist sachlich und neutral. Konkrete Empfehlungen hängen von Alter, Risiko, Vorgeschichte und aktuellen Leitlinien ab — klären Sie das mit Ihrer Ärztin oder Ihrem Arzt (Robert Koch-Institut und GEKID, 2023; DeVita u. a., 2019).

**Hautkrebs-Screening** Ab 35 Jahren übernimmt die Krankenkasse alle zwei Jahre eine Hautkrebs-Früherkennung beim Vertragsarzt (Haut von Kopf bis Fuß). Verdächtige Muttermale werden oft dermatologisch mit *Dermatoskopie* beurteilt — einer vergrößerten Betrachtung mit Auflichtmikroskop. Auffällige Läsionen werden biopsiert. Eigenkontrolle der Haut und Sonnenschutz bleiben wichtig (World Cancer Research Fund & American Institute for Cancer Research, 2018).

**Darmspiegelung (Koloskopie)** Die Koloskopie gilt als wirksames Verfahren zur Früherkennung von Darmkrebs und Vorstufen (Polypen). In Deutschland wird sie ab 50 Jahren (bzw. 45 bei erhöhtem Risiko) angeboten; Intervalle hängen vom Befund ab. Alternativen wie Stuhltests auf Blut existieren — bei positivem Ergebnis folgt meist die Koloskopie (Schoen u. a., 2018; E. R. Fearon & Vogelstein, 1990).

**Mammographie** Frauen zwischen 50 und 69 Jahren werden in Deutschland alle zwei Jahre zur Mammographie-Screening eingeladen. Ziel: Brustkrebs möglichst früh zu finden. Auffällige Befunde führen zu weiterer Diagnostik (Ultraschall, ggf. Biopsie). Die Mammographie ersetzt nicht die ärztliche Untersuchung bei Beschwerden — dort ist die Abklärung meist zeitnaher (DeVita u. a., 2019).

## 1. Orientierung nach der Diagnose

**PSA-Test (Prostata)** Der PSA-Wert im Blut kann auf Prostataveränderungen hinweisen — sowohl gutartig als auch bösartig. Es gibt kein flächendeckendes anonymes Screeningprogramm wie bei Brust oder Darm; die individuelle Entscheidung sollte nach Aufklärung über Nutzen, Risiken (inkl. Überdiagnose, Folgebiopsien) erfolgen. Erhöhte Werte erfordern urologische Abklärung (Welch u. a., 2016; DeVita u. a., 2019).

**Gebärmutterhalskrebs (Zervixkarzinom)** Der Abstrich (Zytologie) und inzwischen oft der HPV-Test erkennen Vorstufen und Krebs des Gebärmutterhalses. Regelmäßige Vorsorge ab dem empfohlenen Alter reduziert das Risiko deutlich. HPV-Impfung schützt zusätzlich vor relevanten Virusstämmen (World Health Organization, 2025).

**Lungenkrebs-Screening (Risikogruppen)** Bei langjährigem, starkem Rauchen kann eine jährliche Niedrigdosis-CT-Untersuchung der Lunge in spezialisierten Programmen sinnvoll sein. Sie richtet sich nicht an die Allgemeinbevölkerung, sondern an definierte Hochrisikogruppen nach Leitlinien (DeVita u. a., 2019).

### Patientenfrage: Soll ich an jedem Screening teilnehmen?

Grundsätzlich ja, wenn Sie eingeladen werden und keine zwingenden Gründe dagegen sprechen. Bei PSA und manchen Zusatzuntersuchungen ist die Entscheidung individueller — lassen Sie sich Nutzen und Belastung erklären. Bei familiärer Belastung (z. B. Darm-, Brust-, Eierstockkrebs) kann ein früherer oder engerer Kontrollplan sinnvoll sein.

Keine Therapieempfehlung — Orientierung für Gespräche mit behandelnden Ärztinnen und Ärzten.

### Fallbeispiel: Der auffällige Vorsorgebrief

Ein 54-jähriger Mann erhält nach der Darmspiegelung den Hinweis „Polyp entfernt, Histologie ausstehend“. Eine Woche lang wartet er nervös. Der Befund: gutartiger Adenom-Polyp, Kontroll-Koloskopie in fünf Jahren. Er lernt: Vorsorge hat funktioniert — der nächste Schritt war klar definiert.

Kein Einzelfall aus der Praxis; keine Heilungsaussage.

## Was Sie sich merken sollten

- Früherkennung verbessert bei vielen Krebsarten die Aussichten — ist aber kein Allheilmittel.
- Screening findet manche Krebse früh, kann aber auch harmlos bleibende Befunde aufdecken (Überdiagnose).

## 1. Orientierung nach der Diagnose

- Haut-Screening (ab 35), Mammographie (50–69), Darmkoloskopie (ab 50/45) sind zentrale Programme in Deutschland.
- PSA ist kein anonymes Massenprogramm — Entscheidung nach individueller Aufklärung.
- Gebärmutterhals-Vorsorge und HPV-Schutz senken das Zervixkrebsrisiko deutlich.
- Lungen-CT-Screening gilt für definierte Raucher-Risikogruppen, nicht für alle.
- Auffällige Vorsorgebefunde brauchen fast immer Nachuntersuchungen — das ist normal.
- Eigenwahrnehmung bleibt wichtig: neue Beschwerden trotz unauffälliger Vorsorge abklären.

### 1.5. Differenzialdiagnose — nicht jeder Befund ist Krebs

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Differenzialdiagnose=Abgrenzung(ähnliche *Krankheiten*)

Zyste=Hohlraum(Gewebe)

Lymphknoten=Abwehrstation(Immunsystem)

Wer einen auffälligen Befund erhält, denkt oft sofort an Krebs. In der Praxis ist die *Differenzialdiagnose* — die Abgrenzung ähnlicher Krankheitsbilder — ein zentraler Schritt: Viele Veränderungen sind gutartig, entzündlich oder vorübergehend. Ärztinnen und Ärzte unterscheiden systematisch anhand von Anamnese, Untersuchung, Bildgebung und oft Gewebeprobe (DeVita u. a., 2019).

**Warum Verwechslungen häufig sind** Krebszellen nutzen manchmal dieselben „Sprache“ wie der Körper: Schwellung, Schmerz, Blutung, Knoten. Entzündungen, Zysten, Narben und hormonelle Veränderungen können ähnlich wirken. Bildgebung allein liefert oft Wahrscheinlichkeiten, keine endgültige Antwort. Deshalb bleibt die Histologie der Goldstandard — wenn eine Gewebeprobe möglich und sinnvoll ist.

**Brustknoten** Die meisten tastbaren Brustveränderungen bei Frauen sind *gutartig* — z. B. zystische Veränderungen oder Fibroadenome. Risikohinweise für weitergehende Abklärung: harte, schmerzlose, einseitige Knoten; Hauteinziehungen; Sekretion aus der Brustwarze; positive Familienanamnese. Ultraschall und Mammographie helfen bei der Einordnung; unsichere Befunde führen zur Biopsie (DeVita u. a., 2019).

## 1. Orientierung nach der Diagnose

**Lymphknotenschwellungen** Lymphknoten reagieren häufig auf Infekte — Hals, Achsel oder Leiste können schmerzhaft anschwellen und nach Wochen wieder abklingen. Anhaltende, harte, schmerzlose Knoten ohne Infektzeichen sollten abgeklärt werden. Die Ursache reicht von Entzündung bis zu malignen Erkrankungen des Lymphsystems oder metastasierten Tumoren.

**Hautveränderungen** Muttermale, Warzen, seborrhische Keratosen und Ekzeme können beunruhigend aussehen. Verdacht auf Melanom oder Spinaliom erhebt sich bei asymmetrischen, wachsenden oder blutenden Läsionen. Die Dermatoskopie und ggf. Biopsie klären die Diagnose (World Cancer Research Fund & American Institute for Cancer Research, 2018).

**Entzündungen und Infekte** Chronische Entzündungen (z. B. Darmentzündungen, Gastritis, Prostatitis) können Schmerzen, Blutungen und Befunde erzeugen, die an Krebs erinnern. Auch nach ausgeheilten Infekten können Lymphknoten oder Laborwerte noch auffällig sein. Der zeitliche Zusammenhang und Verlauf sind wichtige Hinweise.

**Zysten und gutartige Raumforderungen** Zysten sind flüssigkeitsgefüllte Hohlräume — in Niere, Leber, Eierstock oder Brust häufig und oft zufällig entdeckt. Viele bedürfen nur der Beobachtung. Atypische Wandungen, feste Anteile oder Wachstum rechtfertigen weiterführende Diagnostik.

**Wie Ärzte unterscheiden** Typischer Ablauf:

1. **Risiko einschätzen:** Alter, Symptome, Familienanamnese, Risikofaktoren.
2. **Körperliche und bildgebende Untersuchung:** Form, Begrenzung, Durchblutung, Lymphknoten.
3. **Verlauf beobachten** — nur wenn medizinisch vertretbar; nicht bei klaren Warnzeichen.
4. **Gewebeprobe oder Entfernung** bei persistierendem oder hohem Verdacht.
5. **Spezialistische Mitbeurteilung** (Pathologie, Radiologie, Tumorboard).

### **Patientenfrage: Der Arzt sagt „wahrscheinlich gutartig“ — reicht das?**

Fragen Sie: *Worauf stützt sich die Einschätzung? Was wäre ein Zeichen, dass doch abgeklärt werden muss? Wann Kontrolltermin?* Bei Unsicherheit ist eine Zweitmeinung oder Biopsie legitim.

Keine Therapieempfehlung — Orientierung für Gespräche mit behandelnden Ärztinnen und Ärzten.

## 1. Orientierung nach der Diagnose

### Spannung aushalten

Zwischen erstem Verdacht und endgültigem Befund liegen oft Tage oder Wochen. Das ist belastend, aber normal. Nutzen Sie die Zeit für Fragenlisten, Begleitung und strukturierte Information — nicht für endlose Panik-Recherchen ohne medizinischen Kontext.

### Fallbeispiel: Die Zyste in der Niere

Bei einer CT-Untersuchung nach einem Unfall entdeckt ein 48-jähriger Mann „einen Herd an der Niere“. Er fürchtet sofort Nierenzellkarzinom. Nach MRT und Verlaufskontrolle zeigt sich: einfache Zyste, jährliche Kontrolle ausreichend. Er lernt: *Befund* und *Diagnose* sind nicht dasselbe — die Einordnung zählt.

Kein Einzelfall aus der Praxis; keine Heilungsaussage.

## Was Sie sich merken sollten

- Viele auffällige Befunde sind gutartig — Krebs ist nicht die einzige Erklärung.
- Brustknoten, Lymphknoten, Hautläsionen und Zysten haben häufig harmlose Ursachen.
- Bildgebung liefert Verdacht, Histologie oft Gewissheit.
- Entzündungen und Infekte können Krebs ähnlich imitieren.
- Ärztliche Abgrenzung folgt Risiko, Untersuchung, Verlauf und ggf. Biopsie.
- „Wahrscheinlich gutartig“ sollte begründet sein — mit klarem Plan bei Verschlechterung.
- Wartezeiten bis zum Endbefund sind normal; strukturierte Information hilft gegen Angst.

## 1.6. Typische Patientenpfade — Was passiert als Nächstes?

Viele Leserinnen und Leser fragen nicht zuerst „Was ist Krebs?“, sondern „Was soll ich *jetzt* tun?“. Die folgenden Beispielpfade beschreiben *typische* Abläufe in Deutschland — ohne Therapieempfehlungen, ohne Garantie auf genau diese Reihenfolge. Ihr individueller Weg kann kürzer, länger oder anders sein (DeVita u. a., 2019; Robert Koch-Institut und GEKID, 2023).

### Was alle Pfade gemeinsam haben

## 1. Orientierung nach der Diagnose

- Ein erster Ansprechpartner (meist Hausarzt oder Facharzt) koordiniert die Schritte.
- Bildgebung und Labor liefern Hinweise — die Gewebeprobe (Biopsie) klärt die Tumorart.
- Nach gesicherter Diagnose folgen Staging und Tumorboard (interdisziplinäre Fallbesprechung).
- Sie dürfen Fragen stellen, Befunde mitnehmen und Zweitmeinungen einholen.

### Beispielpfad A — Verdächtiger Hautfleck

1. **Verdächtiger Hautfleck** - neue, wachsende oder veränderte Läsion (ABCDE-Kriterien).
2. **Hausarzt** - erste Beurteilung, Überweisung zum Dermatologen bei Verdacht.
3. **Hautarzt** - genaue Inspektion aller Muttermale.
4. **Dermatoskopie** - vergrößerte Beurteilung ohne Gewebeentnahme.
5. **Biopsie** - bei auffälligem Befund Entfernung oder Stanzbiopsie.
6. **Befund (Histologie)** - z.B. gutartig, Spinaliom, Melanom mit Tiefe und Randstatus.
7. **Therapieentscheidung** - im Tumorboard oder in der Hautkrebs-Sprechstunde; Umfang hängt von Diagnose und Stadium ab.

### Beispielpfad B — Tastbarer Brustknoten

1. **Brustknoten** - neu, hart, einseitig oder von der Betroffenen entdeckt.
2. **Frauenarzt / Gynäkologe** - Anamnese, klinische Untersuchung beider Brüste und Achseln.
3. **Ultraschall** - besonders bei dichter Brustdrüse; Beurteilung der Knotenstruktur.
4. **Mammographie** - oft ergänzend, ab 40 bzw. im Screening-Alter ohnehin empfohlen.

## 1. Orientierung nach der Diagnose

5. **Biopsie** - Stanzbiopsie oder Feinnadel bei unsicherem Befund (BI-RADS-Einstufung).
6. **Tumortypisierung** - Histologie plus Hormonrezeptoren (Östrogen/Progesteron), HER2, ggf. molekulare Marker.
7. **Therapieplanung** - Staging (Knochenscan/CT/MRT je nach Befund), Tumorboard, Aufklärung über Optionen.

### Beispielpfad C — Erhöhter PSA-Wert

1. **Erhöhter PSA-Wert** - im Rahmen Vorsorge oder bei Beschwerden (Wasserlassen, Druckgefühl).
2. **Urologe** - Wiederholung PSA, körperliche Untersuchung (Tastbefund), Risikoabschätzung.
3. **MRT der Prostata** - zunehmend vor Biopsie zur gezielten Entnahme (mpMRI).
4. **Biopsie** - transrektale oder transperineale Stanzbiopsie mit mehreren Proben.
5. **Befund** - Grad (Gleason-Score/ISUP-Grade Group), Ausdehnung, ggf. molekulare Tests.
6. **Therapieoptionen** - abhängig von Risikogruppe: aktive Überwachung, Operation, Strahlentherapie, Hormontherapie - Entscheidung im Gespräch, oft im Tumorboard (Welch u. a., 2016; DeVita u. a., 2019).

### Beispielpfad D — Auffälliger Darmbefund

1. **Auffälliger Darmbefund** - Blut im Stuhl, Stuhltest positiv, Beschwerden oder Zufallsbefund.
2. **Koloskopie** - Darmspiegelung mit direkter Sicht und Polypenentfernung.
3. **Histologie** - Polypentyp (Adenom, Karzinom), Tiefe, Grading bei Krebs.
4. **Staging** - bei Karzinom: Bildgebung (CT/MRT), Tumormarker CEA, ggf. Endosonographie; TNM-Stadium.

## 1. Orientierung nach der Diagnose

5. **Therapieplanung** – endoskopische Entfernung bei frühen Stadien oder Operation ± Chemotherapie/Strahlentherapie je nach Stadium; Tumorboard (Schoen u. a., 2018; E. R. Fearon & Vogelstein, 1990).

### Ihre Rolle auf dem Weg

- **Dokumentieren:** Termine, Befunde, offene Fragen schriftlich festhalten.
- **Mitnehmen:** Befunde auf CD/USB, Pathologieberichte, Medikamentenliste.
- **Fragen:** Was ist der nächste Schritt? Bis wann Ergebnis? Wer ruft mich an?
- **Unterstützung:** Angehörige oder Vertrauensperson zu wichtigen Gesprächen einbeziehen.
- **Zweitmeinung:** bei schwerwiegenden Diagnosen oft möglich und sinnvoll.

### Kein Pfad ist eine Straße ohne Abzweigung

Manche Schritte entfallen, andere kommen hinzu (PET-CT, genetische Beratung, Neoadjuvanz). Ihr Team erklärt, *warum* ein Schritt bei Ihnen nötig ist — nicht nur *dass* er nötig ist.

### Fallbeispiel: Zwei Wege, ein Ziel

Zwei Patientinnen mit Brustknoten: Die eine kommt über das Screening mit Auffälligkeit in der Mammographie, die andere tastet selbst einen Knoten. Beide landen bei Gynäkologe, Ultraschall, Biopsie und Tumorboard — aber die Reihenfolge und Geschwindigkeit unterscheiden sich. Beide profitieren von derselben Grundregel: jeden Schritt verstehen, bevor der nächste folgt.

Kein Einzelfall aus der Praxis; keine Heilungsaussage.

### Was Sie sich merken sollten

- Patientenpfade folgen einem Muster: Verdacht → Abklärung → Gewebe → Staging → Planung.
- Haut: Hausarzt/Hautarzt → Dermatoskopie → Biopsie → Histologie → Entscheidung.
- Brust: Gynäkologe → Ultraschall/Mammographie → Biopsie → Typisierung → Tumorboard.

## *1. Orientierung nach der Diagnose*

- Prostata: Urologe → PSA-Kontrolle/MRT → Biopsie → Gleason/ISUP → Optionsgespräch.
- Darm: Koloskopie → Histologie → Staging → interdisziplinäre Therapieplanung.
- Sie sind Teil des Teams: Fragen, Dokumentation und Begleitung verbessern die Orientierung.
- Keine Therapieempfehlung in diesem Buch — der Ablauf dient der strukturellen Entlastung.
- Zweitmeinung und Tumorboard sind etablierte Qualitätsbausteine — nutzen Sie sie bei Bedarf.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

### Neue Begriffe dieses Kapitels

Chemotherapie=Therapie(Zellgifte)

Immuntherapie=Therapie(Abwehraktivierung)

PersonalisierteMedizin=Medizin(Individualisierung)

### Ihr Nutzen

Nach diesem Kapitel wissen Sie ...

- welche großen Behandlungswege es gibt,
- warum Therapien kombiniert werden,
- welche Fragen vor Therapiebeginn sinnvoll sind.

### Wann ist das wichtig?

Vor Tumorboard-Gesprächen, Zweitmeinungen und dem Start einer Therapie.

### Was Sie sich merken sollten

- Behandlung zielt auf den Tumor und den Erhalt Ihrer Stabilität.
- Nutzen und Nebenwirkungen gehören zusammen besprochen.
- Standardtherapie und ergänzende Ansätze klar trennen.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

### Fragen für Ihren Arzt

- Welches Ziel hat die vorgeschlagene Therapie (Heilung, Kontrolle, Linderung)?
- Welche Nebenwirkungen sind häufig — und was kann man dagegen tun?
- Welche Alternativen oder Kombinationen gibt es?
- Was bedeutet das für Alltag, Arbeit und Familie in den nächsten Wochen?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

### Sofort handeln, wenn ...

Fieber unter Therapie, starke Atemnot, Brustschmerz, Bewusstseinsstörung, unkontrollierbares Erbrechen oder Blutungen — unverzüglich ärztlich abklären.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

### Vertiefung

Metabolische und experimentelle Vertiefungen bleiben im Text erhalten und werden in Teil III durch den biologischen Hintergrund ergänzt.

Wenn Krebs diagnostiziert wird, beginnt für viele Menschen eine Reise durch eine neue Welt aus Operationen, Medikamenten, Terminen und Unsicherheit. Die folgenden Abschnitte erklären die wichtigsten Behandlungswege — vorgezogen nach Teil I, damit Sie früher handlungsrelevante Orientierung finden.

*Leitmotiv — Krebs als Störung biologischer Regulationsräume:* Therapie bedeutet auch: Regulationsräume stabilisieren — Immunsystem, Stoffwechsel und Regeneration mitdenken, ohne seriöse Medizin zu ersetzen.

## 2.1. Operation und Bestrahlung

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Operation=Eingriff(Gewebeentfernung)

Resektion=Entfernung(Tumor)

Bestrahlung=Therapie(Strahlen)

Sicherheitsabstand=Abstand(Gesundes Gewebe)

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

Wenn Menschen an Krebs denken, denken viele zuerst an Operationen. Schneiden. Entfernen. Herausnehmen. Möglichst alles erwischen, bevor sich das Zeug weiter ausbreitet. Und tatsächlich gehört die Chirurgie bis heute zu den wichtigsten Werkzeugen der modernen Krebsmedizin. Solange ein Tumor lokal begrenzt bleibt, besteht oft die Chance, ihn operativ vollständig zu entfernen (Delaney u. a., 2005).

Im Idealfall funktioniert das beinahe wie ein kontrollierter Rückbau. Der Chirurg versucht, nicht nur den sichtbaren Tumor zu entfernen, sondern auch jene biologischen Randzonen, in denen sich bereits einzelne Krebszellen verstecken könnten. Man spricht dabei vom Sicherheitsabstand. Denn Tumoren besitzen selten saubere Grenzen. Eher fransen sie aus wie Rost unter alter Farbe – zunächst unsichtbar, aber längst weiter vorgedrungen, als man von außen vermutet.

**Der Tumor ist selten nur ein Knoten** Besonders schwierig wird die Situation, wenn Tumoren bereits in Blutgefäße, Lymphbahnen, Nerven oder benachbarte Gewebe eingedrungen sind. Dann reicht bloßes Entfernen häufig nicht mehr aus.

Trotzdem bleibt die Operation in vielen Fällen der wichtigste erste Schritt. Man könnte sagen: Wenn der Tumor noch eine lokal begrenzte Baustelle ist, versucht die Chirurgie, den biologischen Schwarzbau möglichst früh abzureißen, bevor daraus ein metastatisches Untergrundnetzwerk wird.

Wie in Abbildung 7.7, Seite 172 sichtbar wird, verändert ein Tumor häufig längst seine Umgebung. Durchblutung, Entzündungsprozesse, Immunreaktionen, Sauerstoffversorgung und Stoffwechselbedingungen geraten zunehmend aus dem Gleichgewicht. Selbst nach erfolgreicher Operation können deshalb mikroskopische Restpopulationen zurückbleiben, die später erneut aktiv werden.

**Bestrahlung als kontrollierter Zellstress** Hier kommt häufig die Strahlentherapie ins Spiel. Die Bestrahlung nutzt hochenergetische Strahlen, um Tumorzellen gezielt zu schädigen (Hall & Giaccia, 2018). Vereinfacht gesagt erzeugt die Strahlung massive DNA-Schäden und oxidativen Stress. Krebszellen verlieren dadurch ihre Teilungsfähigkeit oder sterben ab.

Besonders empfindlich reagieren schnell wachsende Zellpopulationen. Genau deshalb funktioniert Bestrahlung bei vielen Tumoren vergleichsweise gut. Das Problem ist allerdings: Gesunde Zellen werden ebenfalls belastet. Moderne Strahlentherapie versucht daher mit enormem technischen Aufwand, die Strahlung möglichst präzise auf den Tumor zu fokussieren.

Früher wirkte Bestrahlung oft wie biologischer Flächenbombardementbetrieb. Heute arbeiten moderne Systeme beinahe wie hochpräzise Vermessungsingenieure des Körpers mit computergesteuerter Zielplanung, millimetergenauer Strahlenführung und adaptiven Dosierungsmodellen.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

Trotzdem bleibt die Sache ein Balanceakt. Denn Tumoren sitzen häufig genau dort, wo wichtige Organe, Gefäße oder Nervensysteme verlaufen. Manchmal erinnert das Ganze an eine Rohrsanierung mitten in einem laufenden Kraftwerk: Man muss etwas Gefährliches entfernen, ohne dabei die halbe Anlage stillzulegen.

**Hypoxie und Therapieresistenz** Besonders interessant ist der Zusammenhang zwischen Sauerstoff und Bestrahlung. Sauerstoff verstärkt bestimmte strahlenbedingte Schäden innerhalb der Zellen (Brown & Wilson, 2004). Hypoxische Tumorregionen reagieren deshalb häufig schlechter auf Strahlentherapie. Genau dort, wo Tumoren bereits ihre metabolischen Schattenräume aufgebaut haben, wird die Behandlung oft schwieriger.

Auch Stoffwechselprozesse beeinflussen die Strahlenempfindlichkeit von Tumoren. Mitochondriale Funktion, antioxidative Systeme und entzündliche Signalwege bestimmen mit darüber, wie widerstandsfähig Krebszellen auf oxidativen Stress reagieren (Wallace, 2012).

Moderne Forschung untersucht deshalb zunehmend Kombinationen aus Bestrahlung, Immuntherapie, metabolischen Interventionen und entzündungshemmenden Strategien.

**Das Immunsystem als Mitspieler** Interessanterweise beeinflusst Bestrahlung nicht nur Tumorzellen selbst, sondern auch das Immunsystem. Absterbende Krebszellen setzen Signale frei, die Immunreaktionen aktivieren können (Demaria u. a., 2016). Manche Forscher sprechen inzwischen sogar von einer Art immunologischem Weckruf durch bestimmte Formen der Strahlentherapie.

Der Organismus wird dadurch zunehmend als aktiver Mitspieler der Therapie verstanden. Krebsbehandlung bedeutet nicht allein Zerstörung von Tumorgewebe, sondern gleichzeitig die Stabilisierung biologischer Gesamtorganisation.

Natürlich besitzen sowohl Operation als auch Bestrahlung Nebenwirkungen. Müdigkeit, Entzündungen, Narbenbildung, Gewebeschäden oder langfristige Belastungen des Organismus gehören häufig dazu. Gerade deshalb interessieren sich viele Patienten zusätzlich für Ernährung, Stoffwechselunterstützung, Bewegung, Regeneration und Stabilisierung des Immunsystems.

**Mehr als lokale Tumorbekämpfung** Die moderne Onkologie beginnt zunehmend zu verstehen, dass Operation und Bestrahlung zwar wichtige Werkzeuge darstellen, Krebs jedoch selten allein als lokales Problem existiert. Tumoren verändern Stoffwechselräume, Entzündungslandschaften und biologische Kommunikationssysteme weit über ihre sichtbaren Grenzen hinaus.

Der eigentliche Gegner ist deshalb häufig nicht nur der Tumor selbst, sondern das gesamte chaotische metabolische Umfeld, in dem er entstanden ist. Operation und

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

Bestrahlung entfernen oder zerstören Teile dieses Systems – doch die langfristige biologische Stabilisierung des Organismus bleibt eine deutlich größere Herausforderung.

### 2.2. Chemotherapie und Zytostatika

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Zytostatikum=Medikament(Zellteilung)

Nebenwirkung=Folge(Therapie)

Knochenmark=Gewebe(Blutbildung)

Remission=Rueckgang(Krankheitszeichen)

Kaum ein Begriff löst bei Krebspatienten so viele gemischte Gefühle aus wie die Chemotherapie. Für die einen ist sie Hoffnung, für die anderen ein biologischer Großangriff mit ungewissem Ausgang. Und tatsächlich gehört die Chemotherapie bis heute zu den radikalsten Methoden moderner Medizin. Sie versucht, Krebszellen mit chemischen Substanzen so stark zu schädigen, dass diese ihre Teilungsfähigkeit verlieren oder absterben (DeVita u. a., 2019).

Das Grundprinzip klingt zunächst einfach: Krebszellen teilen sich häufig schneller als gesunde Zellen. Also greift man genau diesen Prozess an. Viele Zytostatika blockieren DNA-Synthese, Zellteilung, Reparaturmechanismen oder bestimmte Stoffwechselwege. Das Problem dabei: Der Körper besitzt noch andere Gewebe, die im normalen Betrieb ebenfalls auf Hochtouren laufen. Haarwurzeln, Schleimhäute, Knochenmark oder Darmepithel reagieren deshalb oft besonders empfindlich auf Chemotherapie.

#### **Fallbeispiel: Umgang mit Nebenwirkungen**

Eine Patientin bricht während der Chemotherapie regelmäßig Übelkeit und Antriebslosigkeit ab. Sie schämt sich, „schwach“ zu wirken. Die onkologische Pflege erklärt: Das sind erwartbare Nebenwirkungen, keine persönliche Schuld. Sie dokumentiert Symptome in einem kleinen Kalender, erhält angepasste Medikamente gegen Übelkeit und spricht offen über Pause bei der Arbeit — ohne Heilversprechen, aber mit konkreter Entlastung.

Kein Einzelfall aus der Praxis; keine Heilungsaussage.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

### Patientenfrage: Welche Fragen stelle ich meinem Onkologen?

Beispiele: Welches Ziel hat meine Chemotherapie (Heilung, Kontrolle, Palliation)? Welche Nebenwirkungen sind typisch — und wann muss ich sofort anrufen? Wie oft werden Blutwerte kontrolliert? Darf ich ergänzend Sport machen oder Nahrungsergänzung nehmen? Gibt es klinische Studien für mich?

Keine Therapieempfehlung — Orientierung für Gespräche mit behandelnden Ärztinnen und Ärzten.

Man könnte sagen: Die Chemotherapie arbeitet manchmal wie ein biologischer Abrissbagger im inneren Maschinenraum. Der Tumor soll verschwinden – doch die Baustelle daneben bekommt den Schutt häufig gleich mit ab.

**Der Tumor im metabolischen Ausnahmezustand** Besonders interessant ist, dass Krebszellen trotz ihrer Aggressivität gleichzeitig erstaunlich verletzlich sein können. Viele Tumoren befinden sich metabolisch ohnehin bereits im Ausnahmezustand: hoher Zuckerverbrauch, oxidativer Stress, Sauerstoffmangel, instabile DNA, chaotische Gefäßversorgung und chronische Entzündungsaktivität erzeugen eine fragile biologische Balance.

Die Chemotherapie versucht gewissermaßen, genau diese instabile Lage endgültig zum Kollaps zu bringen.

Dabei existieren zahlreiche unterschiedliche Wirkstoffgruppen. Manche Medikamente blockieren den Aufbau neuer DNA-Stränge, andere sabotieren die Teilungsmaschinerie der Zelle oder erzeugen massive oxidative Schäden (Chiu & Rana, 2008). Jede Wirkstoffklasse greift an anderen Stellen in die innere Betriebslogik der Zelle ein.

Wie in Abbildung 7.4, Seite 161 sichtbar wird, reagieren Tumorzellen darauf häufig mit umfassender metabolischer Reorganisation. Stoffwechselwege werden umgebaut, mitochondriale Funktionen angepasst und alternative Überlebensprogramme aktiviert.

**Die Improvisationskunst der Tumoren** Allerdings sind Krebszellen keine passiven Opfer. Viele entwickeln mit der Zeit regelrechte Überlebensstrategien. Sie verstärken Reparaturmechanismen, verändern ihren Zuckerstoffwechsel, aktivieren Medikamentenpumpen oder reorganisieren antioxidative Schutzsysteme.

Tumoren wirken dadurch manchmal wie improvisationsfreudige Schattenökonomien, die selbst unter massivem Druck noch irgendwo Ersatzteile, Notaggregate und Umleitungen organisieren.

Besonders problematisch erscheinen sogenannte Krebsstammzellen. Dabei handelt es sich um Zellpopulationen, die häufig langsamer wachsen, widerstandsfähiger sind und Therapien besser überleben (Batlle & Clevers, 2017). Einige Forscher vermuten, dass genau diese Zellen später Rückfälle und erneutes Tumorwachstum antreiben könnten.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

Auch hier spielt der Stoffwechsel wieder eine zentrale Rolle. Viele Tumorzellen verändern unter Chemotherapie ihre mitochondriale Aktivität, ihre Autophagie und ihre metabolische Flexibilität. Der Tumor versucht gewissermaßen unter Beschuss seine inneren Kraftwerke umzubauen und den Betrieb irgendwie weiterlaufen zu lassen.

**Neue Kombinationstherapien** Genau deshalb interessieren sich Forscher zunehmend für Kombinationen aus Chemotherapie, Immuntherapie, Hyperthermie, Fastenstrategien, ketogener Ernährung und metabolischen Interventionen.

Einige experimentelle Ansätze verfolgen die Idee, Tumorzellen metabolisch zusätzlich unter Druck zu setzen, während gesunde Zellen möglicherweise besser geschützt bleiben könnten (Poff u. a., 2014). Viele dieser Konzepte befinden sich allerdings weiterhin in wissenschaftlicher Diskussion und besitzen bislang keine allgemeine Standardzulassung als alleinige Krebstherapie.

Gerade Stoffwechsel und Entzündungsregulation geraten dabei zunehmend in den Fokus moderner Onkologie. Krebs wird immer stärker als dynamische metabolische Erkrankung verstanden, bei der Energieorganisation, Zellkommunikation und biologische Anpassungsfähigkeit eine zentrale Rolle spielen.

**Der Organismus im Krisenmodus** Für Patienten bedeutet Chemotherapie häufig eine enorme körperliche und psychische Belastung. Müdigkeit, Übelkeit, Schleimhautschäden, Haarausfall, Appetitverlust oder Nervenschäden gehören zu den bekannten Nebenwirkungen. Der Organismus läuft in dieser Phase biologisch oft im Krisenmodus. Und trotzdem darf man eines nicht vergessen: Für viele Patienten hat genau diese Therapie entscheidend Lebenszeit verlängert oder Heilung überhaupt erst möglich gemacht. Gerade aggressive Tumoren wären ohne moderne Chemotherapie häufig kaum kontrollierbar.

Die eigentliche Herausforderung besteht deshalb nicht darin, Chemotherapie pauschal zu verteufeln oder zu glorifizieren. Vielmehr geht es zunehmend darum zu verstehen, welche Tumoren auf welche Therapien reagieren, wie Stoffwechsel und Tumormilieu die Behandlung beeinflussen und wie der Organismus insgesamt stabilisiert werden kann. Denn Krebs ist selten nur ein lokaler Defekt. Der Tumor sitzt nicht einfach irgendwo isoliert im Körper wie eine kaputte Sicherung im Sicherungskasten. Vielmehr verändert er ganze Stoffwechselräume, Kommunikationssysteme und biologische Energieflüsse.

Die Chemotherapie versucht letztlich, dieses entgleiste System unter Kontrolle zu bringen. Doch der eigentliche Kampf findet tiefer statt – im metabolischen Maschinenraum des Organismus, dort, wo Energie, Reparatur, Entzündung und Zellkommunikation permanent miteinander ringen.

## 2.3. Immuntherapie und Antikörper

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Antikörper=Protein(Erkennung)

Checkpoint-Inhibitor=Medikament(Immunbremse)

T-Zelle=Zelle(Abwehr)

Lange Zeit betrachtete die Krebsmedizin den Tumor hauptsächlich als Problem entarteter Zellen. Inzwischen wird immer deutlicher: Krebs ist zugleich ein Problem gestörter Kommunikation zwischen Tumor und Immunsystem. Denn eigentlich patrouilliert der Körper permanent durch seine eigenen Gewebe. Immunzellen kontrollieren beschädigte Strukturen, erkennen Infektionen und beseitigen auffällige Zellpopulationen. Man könnte sagen: Der Organismus besitzt eine Art biologischen Streifendienst.

Und genau dieser Streifendienst übersieht Krebs erstaunlich oft. Oder schlimmer noch: Er wird vom Tumor aktiv manipuliert.

Moderne Forschung zeigt, dass Tumorzellen hochentwickelte Strategien besitzen, um sich der Immunabwehr zu entziehen (Hanahan, [2022](#)). Manche tarnen sich biologisch um, andere senden hemmende Signale aus oder erschaffen regelrechte immunologische Nebelzonen im Tumormilieu.

Das Ganze erinnert manchmal an eine metabolische Untergrundstadt mit gefälschten Papieren, manipulierten Kontrollposten und eigenen Versorgungskanälen. Der Tumor baut sich nicht nur ein neues Stoffwechselsystem auf – er lernt gleichzeitig, die innere Sicherheitsarchitektur des Körpers auszutricksen.

# DAS IMMUNSYSTEM IM TUMOR

## VERTEIDIGER, DIRIGENTEN UND HEMMSTELLEN

Das Immunsystem erkennt Tumorzellen, beurteilt die Gefahr, aktiviert Abwehrmechanismen und kann Krebs kontrollieren – oder durch Immunhemmung ausgebreitet werden.  
Das Gleichgewicht entscheidet über Kontrolle, Gleichgewicht oder Fortschreiten der Erkrankung.

### 1. ERKENNUNG DER GEFAHR

Dendritische Zellen nehmen Tumorantigene auf und präsentieren sie in den Lymphknoten.



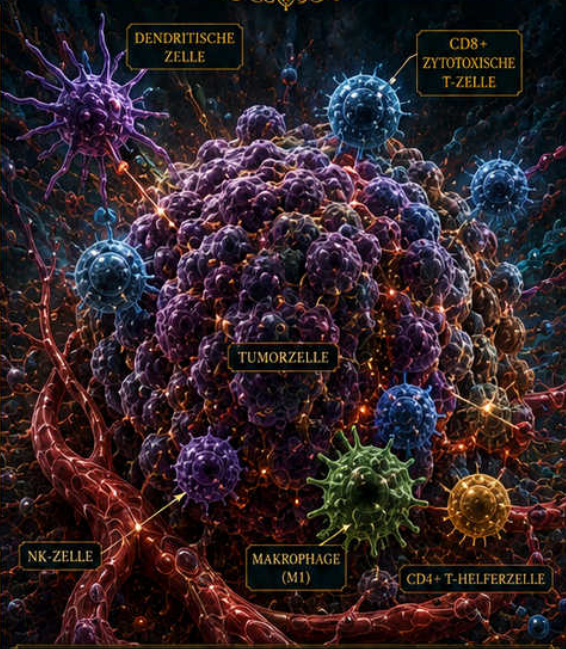
### 2. AKTIVIERUNG ADAPTIVER IMMUNITÄT

T-Zellen werden aktiviert und vermehren sich. Sie spezialisieren sich auf die Bekämpfung des Tumors.



### 3. EFFEKTORFUNKTIONEN GEGEN TUMORZELLEN

Aktiviert Immunzellen wandern in das Tumorgewebe und greifen Krebszellen auf verschiedene Weise an.



### IMMUNZELLEN IM TUMORMIKROMILIEU



### DAS IMMUNGLEICHGEWICHT ENTSCHIEDET



### 4. IMMUNSUPPRESSION IM TUMOR

Tumore nutzen verschiedene Wege, um Immunantworten zu dämpfen und der Abwehr zu entkommen.



### 5. THERAPEUTISCHE ANGRIFFSPUNKTE

Moderne Immuntherapien lösen Blockaden und reaktivieren die körpereigene Tumoralabwehr.



### FAKTOREN, DIE DIE IMMUNANTWORT BEEINFLUSSEN



### ZENTRALE BOTSCHAFT



EIN AKTIVES IMMUNSYSTEM IST NICHT NUR VERTEIDIGER –  
SONDERN ENTSCHEIDENDER PARTNER IM KAMPF GEGEN KREBS.

Das Immunsystem im Tumor

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

**Die Reaktivierung biologischer Wachsamkeit** Genau hier setzt die Immuntherapie an. Statt Tumorzellen direkt chemisch oder mechanisch zu zerstören, versucht sie, die körpereigene Abwehr wieder zu aktivieren (Ribas & Wolchok, 2018). Vereinfacht gesagt sollen blockierte oder erschöpfte Kontrollmechanismen erneut lernen, den Tumor als Bedrohung zu erkennen.

### Was ist ein Antikörperpräparat?

Antikörper sind körpereigene Abwehrproteine. In der Krebsmedizin können gezielt hergestellte Antikörper (Monoklonale Antikörper) Tumorzellen markieren oder Immunbremsen lösen (Checkpoint-Inhibitoren). Sie werden meist als Infusion gegeben. Wirkung und Nebenwirkungen hängen stark von Krebsart und Medikament ab — individuelle Aufklärung ist Pflicht.

Besonders bekannt wurden dabei die sogenannten Checkpoint-Inhibitoren. Tumorzellen nutzen molekulare Bremsmechanismen wie PD-1, PD-L1 oder CTLA-4, um Immunzellen auszuschalten (Pardoll, 2012). Die Immunzelle fährt biologisch gewissermaßen an den Tumor heran, bekommt ein „Alles in Ordnung“-Signal und zieht weiter.

Checkpoint-Inhibitoren blockieren genau diese Täuschungsmanöver. Die Immunzellen erkennen den Tumor plötzlich wieder als Gefahr. Manche Patienten erleben dadurch beeindruckende Therapieerfolge, insbesondere bei Melanomen, bestimmten Lungenkarzinomen, Nierenzellkarzinomen oder einigen Blutkrebserkrankungen.

Wie in Abbildung 2.3, Seite 32 sichtbar wird, hängt der Erfolg solcher Therapien jedoch stark vom Tumormikromilieu ab. Entzündungsräume, Sauerstoffmangel, Stoffwechselzustände und immunologische Signalwege beeinflussen entscheidend, wie effektiv Immunzellen überhaupt arbeiten können.

**Der Tumor als Meister der Tarnung** Allerdings funktioniert Immuntherapie keineswegs bei allen Tumoren gleich gut. Manche Krebsarten bleiben immunologisch beinahe unsichtbar. Andere erschöpfen das Immunsystem langfristig so stark, dass selbst moderne Immuntherapien nur begrenzt wirken. Und manchmal schlägt die aktivierte Immunabwehr plötzlich über das Ziel hinaus und greift gesundes Gewebe an.

Die Sache ist also deutlich komplizierter als ein einfacher Immunschalter.

Besonders faszinierend ist die enorme Anpassungsfähigkeit von Tumoren. Krebszellen verändern ihre Oberflächenstrukturen, ihr Stoffwechselmilieu, ihre Entzündungsräume und ihre Kommunikationssignale kontinuierlich weiter. Das Immunsystem gerät dadurch manchmal in eine Art Dauerverwirrung – wie ein überlasteter Werkschutz, der gleichzeitig Brände löschen, Sabotage verhindern und Stromausfälle kontrollieren soll.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

**Antikörper als biologische Präzisionswerkzeuge** Eine weitere wichtige Rolle spielen therapeutische Antikörper. Diese künstlich hergestellten Eiweißmoleküle funktionieren gewissermaßen wie hochspezialisierte Zielmarkierungen (Scott u. a., 2012). Sie docken gezielt an Oberflächenstrukturen von Tumorzellen an.

Dadurch können sie Tumorzellen markieren, Wachstumsrezeptoren blockieren, Immunzellen aktivieren oder Medikamente direkt an Krebszellen herantransportieren. Man könnte sagen: Der Tumor bekommt biologisch einen leuchtenden Zielmarker aufgeklebt. Besonders bekannt wurden Antikörpertherapien gegen HER2 bei Brustkrebs, CD20 bei Lymphomen oder EGFR bei bestimmten Tumorarten. Zusätzlich existieren inzwischen sogenannte Antikörper-Wirkstoff-Konjugate. Dabei trägt der Antikörper seine eigene kleine chemische Ladung direkt zum Tumor – eine Art biologischer Präzisionskurierdienst mit angeschlossenem Sprengsatz.

Noch spektakulärer wirken CAR-T-Zelltherapien. Hier werden Immunzellen des Patienten genetisch verändert, damit sie Tumorzellen gezielt erkennen und angreifen können (Maude u. a., 2018). Manche Leukämiepatienten erreichten dadurch Remissionen, die früher kaum vorstellbar gewesen wären.

**Immunologie und Stoffwechsel** Besonders spannend wird deshalb die Verbindung zwischen Immunologie und Stoffwechsel. Immunzellen benötigen enorme Mengen Energie. Sie reagieren empfindlich auf Sauerstoffmangel, Glukoseverfügbarkeit, mitochondriale Funktion, chronische Entzündungen und metabolischen Stress (Buck u. a., 2015).

Der Tumor verändert genau diese Bedingungen gezielt. Das Tumormikromilieu wird dadurch zu einer Art metabolischem Störfeld, innerhalb dessen Immunzellen zunehmend schlechter arbeiten können.

Auch Ernährung, Schlaf, Bewegung und systemische Entzündungsregulation könnten indirekt Einfluss auf immunologische Prozesse besitzen. Gleichzeitig bleibt wissenschaftliche Vorsicht wichtig: Viele Zusammenhänge werden intensiv erforscht, doch längst nicht alle vermuteten Effekte gelten bereits als klinisch gesichert.

**Krebs als Kommunikationsstörung** Die moderne Immuntherapie markiert dennoch einen historischen Wendepunkt der Krebsmedizin. Erstmals wird Krebs nicht mehr ausschließlich als Problem entarteter Zellen betrachtet, sondern als Störung biologischer Kommunikation zwischen Stoffwechsel, Immunsystem, Entzündung, Zellsignalen und mikroökologischen Räumen.

Der Tumor erscheint dadurch immer weniger wie ein isolierter Knoten und zunehmend wie ein biologisches Schattenregime, das Kontroll- und Versorgungssysteme des Körpers

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

unterwandert. Immuntherapien versuchen letztlich genau diese Ordnung wiederherzustellen – nicht allein durch Zerstörung, sondern durch Reaktivierung der körpereigenen biologischen Wachsamkeit.

### 2.4. Hyperthermie

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Fieber=Reaktion(Temperaturerhoehung)

Temperaturgradient=Unterschied(Waerme)

ThermischeBelastung=Stress(Hitze)

Wärme ist etwas Merkwürdiges. Einerseits heilt sie. Andererseits zerstört sie. Der menschliche Körper weiß das seit Millionen Jahren. Fieber zum Beispiel ist kein Defekt, sondern eine uralte biologische Krisentechnik. Wenn Gefahr droht, fährt der Organismus die Temperatur hoch. Der Stoffwechsel beschleunigt sich, Immunzellen werden aktiver und manche Krankheitserreger geraten plötzlich unter Druck. Der gesamte innere Maschinenraum schaltet gewissermaßen auf Ausnahmebetrieb.

Und genau an diesem Punkt beginnt die Idee der Hyperthermie.

Die Grundüberlegung klingt beinahe zu simpel: Wenn Tumorgewebe empfindlicher auf Hitze reagiert als gesundes Gewebe, könnte man versuchen, Krebszellen gezielt thermisch zu belasten. Doch sobald man tiefer hineinschaut, merkt man schnell, dass hier kein einfacher Heizlüfter an einem biologischen Gartenschuppen arbeitet. Eher bewegt man sich mitten in einem hochkomplizierten Kraftwerkssystem voller Temperaturgradienten, Durchblutungsprobleme und metabolischer Notprogramme.

**Tumoren unter thermischem Stress** Tumoren besitzen häufig chaotische Gefäßsysteme. Manche Regionen sind schlecht durchblutet, andere leiden unter Sauerstoffmangel, wieder andere stauen Stoffwechselabfälle wie alte Industriekanäle hinter verrosteten Schleusentoren. Genau diese Bereiche reagieren oft empfindlicher auf Hitze (Zee, 2002). Die Zellen stehen dort metabolisch ohnehin bereits mit dem Rücken zur Wand.

Man darf sich einen Tumor deshalb nicht wie einen ordentlich organisierten Stadtteil vorstellen. Eher wie ein improvisiertes Versorgungslager irgendwo hinter den offiziellen Leitungsplänen des Körpers. Die Energieversorgung flackert, die Sauerstoffleitungen pfeifen, überall liegen Stoffwechselreste herum und mitten darin versucht der Krebs trotzdem weiterzubauen.

Wird nun Wärme eingebracht, geraten viele dieser instabilen Systeme zusätzlich unter Druck. Proteine beginnen zu denaturieren, Reparaturmechanismen versagen und Zellmembranen verlieren ihre Stabilität (Wust u. a., 2002). Besonders spannend ist dabei

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

die Wechselwirkung mit Sauerstoffmangel. Gerade jene hypoxischen Tumorregionen, die häufig schlecht auf Bestrahlung oder Chemotherapie reagieren, scheinen teilweise empfindlicher gegenüber Hyperthermie zu sein.

Wie in Abbildung 7.5, Seite 164 sichtbar wird, entstehen innerhalb des Tumors komplexe Stresslandschaften aus Sauerstoffmangel, Übersäuerung und metabolischer Überlastung. Die Hyperthermie erhöht den Druck auf genau diese bereits instabilen Systeme zusätzlich.

**Der Tumor im Ausnahmebetrieb** Deshalb wird Hyperthermie häufig nicht isoliert eingesetzt, sondern mit Bestrahlung, Chemotherapie oder Immuntherapie kombiniert. Man könnte sagen: Die Wärmebehandlung versucht nicht unbedingt, den Tumor allein zu besiegen. Sie bringt vielmehr zusätzliche Unruhe in ein ohnehin bereits überlastetes biologisches System.

Interessanterweise reagiert auch das Immunsystem auf Temperaturveränderungen. Manche Studien deuten darauf hin, dass Hyperthermie bestimmte Immunreaktionen stimulieren könnte (Toraya-Brown u. a., 2014). Der Organismus interpretiert die Situation gewissermaßen erneut als biologischen Alarmzustand.

Natürlich klingt das alles zunächst fast verdächtig logisch. Genau deshalb muss man wissenschaftlich vorsichtig bleiben. Hyperthermie wird zwar seit Jahrzehnten erforscht und in bestimmten klinischen Situationen ergänzend eingesetzt, besitzt jedoch je nach Tumorart, Technik und Studienlage sehr unterschiedliche Evidenzgrade. Manche Anwendungen gelten als vielversprechend, andere bleiben kontrovers diskutiert.

**Metabolische Schwachstellen des Tumors** Und trotzdem übt die Idee eine eigentümliche Faszination aus. Vielleicht auch deshalb, weil Wärme biologisch etwas Archaisches besitzt. Der Körper kennt Hitze. Er kennt Fieber. Er kennt Stoffwechselstress. Krebs dagegen scheint oft genau dort verwundbar zu werden, wo seine improvisierten Versorgungssysteme ohnehin bereits am Limit laufen.

Besonders spannend wird die Sache aus metabolischer Sicht. Tumoren arbeiten häufig bereits unter Sauerstoffmangel, hohem Glukoseverbrauch, oxidativem Stress und chaotischer Durchblutung. Die Hyperthermie erhöht den inneren Druck zusätzlich.

Man könnte sagen: Im biologischen Kombinat des Tumors beginnen plötzlich mehrere Kessel gleichzeitig zu überhitzen.

Gleichzeitig besitzt der Organismus erstaunliche Schutzmechanismen. Gesunde Zellen können bestimmte Hitzestressprogramme aktivieren und sich teilweise an erhöhte Temperaturen anpassen. Tumorgewebe dagegen wirkt oft deutlich schlechter organisiert. Wie eine alte Fabrikanlage, bei der die Kühlung längst nur noch über improvisierte Notleitungen funktioniert.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

**Thermische Expedition im biologischen Gelände** Moderne Hyperthermie arbeitet deshalb mit hochkomplexer Technik: Mikrowellen, Radiofrequenzsysteme, Ultraschall oder regionale Wärmeanwendungen sollen die Temperatur möglichst präzise im Tumorgewebe erhöhen, ohne umliegende Strukturen unnötig zu schädigen.

Ganz einfach ist das allerdings nicht. Wärme verteilt sich im Körper keineswegs gleichmäßig. Blutgefäße wirken wie Kühlsysteme, Gewebe besitzen unterschiedliche Leitfähigkeiten und jeder Tumor entwickelt seine eigene mikroökologische Landschaft. Die Therapie gleicht deshalb manchmal eher einer thermischen Expedition durch unbekanntes biologisches Gelände.

Trotz aller technischen Fortschritte zeigt Hyperthermie vor allem eines sehr deutlich: Krebs ist kein rein genetisches Problem. Temperatur, Stoffwechsel, Sauerstoffversorgung, Immunreaktionen und Energieorganisation greifen tief ineinander.

Der Tumor lebt nicht isoliert von seiner Umgebung, sondern mitten in einem empfindlichen metabolischen Klimasystem.

Und genau dieses Klima versucht die Hyperthermie zu verändern. Nicht allein mit chirurgischer Präzision, sondern eher wie ein kontrollierter Wetterumschwung im Inneren des biologischen Territoriums.

## 2.5. Stammzelltherapie und experimentelle Verfahren

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Transplantation=Uebertragung(Gewebe)

Knochenmarktransplantation=Transplantation(Blutbildung)

ExperimentelleTherapie=Verfahren(Forschung)

Es gibt in der Krebsmedizin diese seltsamen Grenzgebiete zwischen Hoffnung und Nebel. Bereiche, in denen plötzlich Begriffe auftauchen wie Stammzellen, Reprogrammierung, Regeneration, Zellverjüngung oder biologische Neustartsysteme. Und sofort springt im Kopf vieler Menschen ein ganz bestimmtes Bild an: Irgendwo müsste es doch diese eine große Reparaturfunktion geben. Eine Art versteckter Hauptschalter im Körper. Ein biologischer Generalschlüssel, mit dem sich beschädigte Gewebe oder vielleicht sogar Krebs einfach wieder zurücksetzen lassen.

Genau dort beginnt die Faszination der Stammzellforschung.

Denn Stammzellen sind tatsächlich etwas Besonderes. Sie gehören gewissermaßen zu den letzten großen Reserveeinheiten des Körpers. Noch nicht vollständig festgelegt. Anpassungsfähig. Teilungsfähig. Biologisch erstaunlich offen. Aus ihnen können sich unterschiedlichste Zelltypen entwickeln (Copelan, [2006](#)).

### Was ist eine Stammzelle?

Stammzellen sind Zellen, die sich noch weiterentwickeln (differenzieren) können — zum Beispiel zu Blut-, Knochen- oder Nervenzellen. In der Krebsmedizin sind v. a. Blut-Stammzelltransplantationen bei bestimmten Leukämien etabliert. Andere „Stammzell-Kuren“ gegen Krebs sind oft experimentell oder nicht wissenschaftlich gesichert — Vorsicht bei werblichen Angeboten.

Man könnte sagen: Während viele Körperzellen längst feste Schichten im biologischen Kombinat übernommen haben, sitzen Stammzellen noch irgendwo in der zentralen Ausbildungswerkstatt des Organismus.

**Der biologische Wiederaufbau** Besonders bekannt wurde die Stammzelltherapie bei Leukämien und bestimmten Lymphomen. Dort versucht man nach aggressiver Chemotherapie oder Bestrahlung das blutbildende System neu aufzubauen. Das alte, beschädigte Versorgungssystem wird gewissermaßen stillgelegt, danach beginnt ein kontrollierter biologischer Wiederaufbau.

Das klingt zunächst beinahe futuristisch. Und teilweise ist es das auch.

Doch je tiefer man in die Tumorbilogie hineinschaut, desto komplizierter wird die Sache. Denn plötzlich taucht eine unangenehme Vermutung auf: Was ist eigentlich, wenn Tumoren selbst stammzellartige Eigenschaften entwickeln?

Genau diese Idee beschäftigt die Forschung seit Jahren (Batlle & Clevers, 2017). Manche Tumoren scheinen kleine Zellpopulationen zu besitzen, die extrem widerstandsfähig sind, lange überleben, sich verstecken können und später neue Tumoren aufbauen.

Während große Teile des sichtbaren Tumors unter Therapie bereits kollabieren, sitzen diese Zellen oft noch irgendwo tief in den metabolischen Hinterhöfen des Gewebes und warten ab. Wie alte Schwarzarbeiterbrigaden, die den halben Betrieb auch nach dem dritten Abriss wieder ans Laufen bekommen.

**Die metabolische Sparsamkeit der Krebsstammzellen** Besonders faszinierend ist dabei ihr Stoffwechsel.

Viele Krebsstammzellen wirken metabolisch erstaunlich sparsam. Nicht laut. Nicht hektisch. Eher wie kleine biologische Notstromaggregate im Hintergrund (Folmes u. a., 2012). Während andere Tumorzellen Glukose verheizen wie ein überlasteter Hochofen, fahren diese Zelltypen oft auf reduziertem Energieverbrauch.

Das macht sie therapeutisch so schwierig.

Denn viele klassische Krebstherapien greifen vor allem schnell wachsende Zellen an. Krebsstammzellen dagegen entziehen sich teilweise genau diesem Angriffsmuster. Sie wechseln gewissermaßen in eine Art biologischen Winterschlaf.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

Wie in Abbildung 7.1, Seite 149 angedeutet, greifen Reparaturmechanismen, Regeneration und zelluläre Anpassungsprogramme tief ineinander. Genau diese biologischen Systeme könnten unter entgleisten Bedingungen jedoch gleichzeitig zur Stabilisierung von Tumoren beitragen.

**Expedition durch unbekannte Stoffwechselräume** Und genau dort beginnt das riesige Feld experimenteller Verfahren.

Weltweit versuchen Forscher inzwischen, Signalwege zu blockieren, Stammzellnischen zu destabilisieren, metabolische Schwachstellen auszunutzen oder Immunzellen gezielt gegen solche Zellpopulationen zu aktivieren.

Manchmal wirkt die moderne Krebsforschung dabei wie eine Expedition durch unbekannte unterirdische Tunnelsysteme. Hinter jeder neuen metabolischen Tür tauchen plötzlich weitere Steuermechanismen auf: Autophagie, Mitochondrien, mTOR, AMPK, Sauerstoffsensoren oder epigenetische Programme.

Der Tumor erscheint dadurch immer weniger wie ein einfacher Zellfehler und zunehmend wie ein improvisationsbegabtes biologisches Überlebenssystem.

Besonders Stoffwechsel und Zellatmung geraten hierbei immer stärker in den Mittelpunkt. Viele experimentelle Verfahren untersuchen inzwischen gezielt mitochondriale Funktionen, metabolische Anpassungsmechanismen und die Fähigkeit von Tumorzellen, zwischen unterschiedlichen Energiequellen zu wechseln.

**Zwischen Hoffnung und biologischer Realität** Natürlich entstehen gerade in solchen Grauzonen auch viele übertriebene Hoffnungen. Rund um Stammzelltherapien existiert inzwischen ein weltweiter Markt aus Privatkliniken, Regenerationsversprechen und teilweise fragwürdigen Heilungserzählungen.

Deshalb bleibt wissenschaftliche Vorsicht enorm wichtig.

Nicht alles, was biologisch faszinierend klingt, besitzt bereits klinisch belastbare Evidenz. Manche Verfahren befinden sich noch im experimentellen Stadium. Andere besitzen keine FDA- oder EU-Zulassung zur Krebsbehandlung. Wieder andere werden innerhalb der Wissenschaft kontrovers diskutiert.

Und trotzdem wäre es falsch, diese Entwicklungen einfach abzutun.

Denn die Stammzellforschung zeigt etwas Grundsätzliches: Der menschliche Körper ist biologisch viel dynamischer, improvisationsfähiger und umbaubarer, als man früher dachte.

Zellen reagieren auf Stress, Sauerstoffmangel, Entzündungen, Nährstoffversorgung und metabolische Krisen oft erstaunlich flexibel. Genau das macht Hoffnung. Und genau das macht Krebs gleichzeitig so gefährlich.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

**Fehlgeleitete Regeneration** Denn dieselben biologischen Programme, die eigentlich Reparatur, Anpassung und Regeneration ermöglichen, können unter entgleisten Bedingungen plötzlich Tumorstabilisierung bewirken. Krebs wirkt dadurch manchmal wie eine fehlgeleitete Form biologischer Regeneration. Nicht tot. Nicht stabil. Sondern permanent im Umbau.

Wie ein halb verlassenes Industriegelände, auf dem trotz aller Absperrungen irgendwo immer noch Generatoren laufen, Rohre warm bleiben und nachts neue Leitungen gezogen werden.

Die moderne Krebsforschung beginnt deshalb zunehmend zu verstehen, dass erfolgreiche Therapie nicht allein darin besteht, Tumorzellen zu zerstören. Genauso entscheidend könnte die Frage werden, wie man die biologischen Regenerations- und Anpassungssysteme des Organismus wieder in stabile Bahnen zurückführt.

### 2.6. Ernährung und Stoffwechseltherapie

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Ernährungstherapie=Ansatz(Ernährung)

MetabolischeTherapie=Therapie(Stoffwechsel)

Ketose=Zustand(Fettverbrennung)

Kalorienrestriktion=Reduktion(Nahrungsenergie)

Früher oder später landet fast jeder Krebspatient bei derselben Frage. Meist nachts. Irgendwann zwischen Müdigkeit, Angst und der dritten Tasse kaltem Kaffee vor dem Bildschirm.

„Kann Ernährung eigentlich wirklich etwas verändern?“

Und plötzlich öffnet sich ein seltsames Paralleluniversum. Überall tauchen Wunderdiäten, Fastenkuren, Heilpilze, Ketose, Vitamininfusionen, Broccoli-Extrakte oder irgendwelche ominösen Pulver auf, die klingen wie geheime Zusatzstoffe aus einem sowjetischen Raketenlabor.

Die klassische Medizin reagierte darauf lange eher frostig. Ernährung galt häufig als Beilage zum eigentlichen Therapiebetrieb. Wichtig vielleicht für allgemeine Stabilisierung, aber nicht als zentrale Ebene der Krebsbehandlung.

Inzwischen beginnt sich dieses Bild langsam zu verschieben.

Nicht plötzlich. Nicht mit großem Paukenschlag. Eher wie in alten Industriegebieten nach der Wende: Erst steht alles grau und still herum, und irgendwann merkt man, dass unter den rostigen Leitungen doch noch Betrieb möglich ist.

Denn Krebs besitzt einen Stoffwechsel.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

Der Tumor lebt schließlich nicht von philosophischen Diskussionen oder positiven Gedanken. Er braucht Energie, Baustoffe, Sauerstoff, Signalstoffe und permanenten Nachschub.

Genau deshalb gerät Ernährung zunehmend in den Fokus metabolischer Krebsforschung (Seyfried, 2012).

**Der Tumor im Energiehunger** Besonders auffällig ist der enorme Glukoseverbrauch vieler Tumoren. Manche Krebszellen benehmen sich metabolisch wie völlig überdrehte Kohlekessel, die Tag und Nacht Brennstoff nachfordern. Otto Warburg beschrieb dieses Verhalten bereits vor fast hundert Jahren (Warburg, 1956). Der Tumor schaltet häufig auf Glykolyse um und verheizt Zucker in erstaunlichen Mengen.

Das bedeutet natürlich nicht automatisch: „Zucker verursacht Krebs“ oder: „Krebs lässt sich einfach aushungern.“ Ganz so simpel funktioniert der menschliche Körper nicht. Aber die Frage bleibt spannend: Was passiert eigentlich, wenn sich der gesamte Stoffwechsel verändert? Genau dort setzt die Idee metabolischer Ernährungskonzepte an.

Besonders bekannt wurde die ketogene Ernährung. Vereinfacht gesagt versucht der Körper dabei, stärker auf Fettverbrennung und Ketonkörper umzuschalten (Fine & Feinman, 2009). Viele gesunde Zellen können mit solchen Bedingungen erstaunlich flexibel umgehen. Manche Tumoren dagegen scheinen metabolisch weniger anpassungsfähig zu sein.

Zumindest teilweise.

Denn Krebs ist kein einheitlicher Gegner. Manche Tumoren reagieren möglicherweise empfindlicher auf Stoffwechselveränderungen, andere bauen sich sofort neue Umleitungen. Der Krebs wirkt manchmal wie ein alter Schwarzmarkthändler der Biologie: Kaum sperrt man irgendwo eine Versorgungslinie, taucht plötzlich hinter dem nächsten metabolischen Hinterhof schon wieder eine neue auf.

Wie in Abbildung 7.3, Seite 159 angedeutet, reorganisieren Tumoren ihre Energieflüsse hochdynamisch und reagieren flexibel auf Veränderungen des metabolischen Umfeldes.

**Fasten und metabolischer Krisenmodus** Genau deshalb wäre es unseriös zu behaupten, Ernährung allein könne Krebs sicher heilen. Dafür existiert bislang keine allgemeingültige wissenschaftliche Evidenz. Sehr wohl aber untersuchen zahlreiche Forscher metabolische Therapiekonzepte als ergänzende Strategie innerhalb komplexer Behandlungssysteme (Poff u. a., 2014).

Und plötzlich wird die Sache größer als bloße Kalorienzählerei. Denn Ernährung beeinflusst Hormone, Insulin, Entzündungen, Mitochondrien, oxidativen Stress, Autophagie, Immunreaktionen und das gesamte innere Stoffwechselklima.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

Der Körper funktioniert eben nicht wie ein einzelner Motor. Eher wie ein riesiges Versorgungssystem mit tausenden Rückkopplungen, Pumpen, Nebenleitungen und improvisierten Notprogrammen.

Besonders interessant wurde deshalb das Thema Fasten.

Wenn Nahrung knapp wird, aktiviert der Organismus uralte biologische Überlebensprogramme (Longo & Mattson, 2014). Zellen beginnen aufzuräumen. Autophagie nimmt zu. Stoffwechselwege verändern sich. Der Körper fährt gewissermaßen einen alten Krisenmodus hoch, den moderne Dauerverfügbarkeit fast vergessen ließ.

Man könnte sagen: Plötzlich läuft der innere Maschinenraum nicht mehr auf verschwenderischem Dauerbetrieb, sondern auf präziser Mangelverwaltung.

Einige Forscher vermuten, dass gesunde Zellen unter solchen Bedingungen teilweise widerstandsfähiger werden könnten, während bestimmte Tumorzellen stärker unter metabolischen Stress geraten. Andere warnen wiederum vor Gewichtsverlust, Mangelernährung oder unkontrollierten Selbstexperimenten.

Und genau dort beginnt das schwierige Gelände.

Denn rund um Ernährung und Krebs existiert inzwischen eine Art biologischer Wilder Westen aus Heilsversprechen, Internetgurus, Nahrungsergänzungsmärkten und pseudowissenschaftlichen Erlösungsfantasien.

Manche Ansätze besitzen interessante wissenschaftliche Grundlagen. Andere erinnern eher an metabolischen Jahrmarkt mit angeschlossener Wunderheilerbude.

**Naturstoffe und metabolische Signalräume** Trotzdem tauchen bestimmte Naturstoffe immer wieder in der Forschung auf: Broccoli und Sulforaphan, Resveratrol, Flavonoide, Curcumin, Omega-3-Fettsäuren, Leinöl, Saponine, Salvestrole oder Senfölglykoside.

Für viele dieser Stoffe existieren Laborstudien, Tiermodelle oder präklinische Hinweise auf interessante biologische Effekte. Gleichzeitig fehlen häufig noch große kontrollierte klinische Studien oder offizielle Zulassungen als etablierte Krebstherapie.

Und genau deshalb braucht dieses Thema Ehrlichkeit. Man darf Hoffnung beschreiben. Man darf metabolische Zusammenhänge erklären. Man darf wissenschaftliche Entwicklungen diskutieren.

Aber man darf nicht so tun, als gäbe es längst die eine endgültige Ernährungslösung gegen Krebs irgendwo zwischen Broccolisaft und Kokosöl.

**Der Tumor mitten im Versorgungssystem** Vielleicht liegt die eigentliche Bedeutung der Stoffwechseltherapie ohnehin woanders. Nicht im simplen „Heilen durch Essen“.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

Sondern in der Erkenntnis, dass Krebs mitten im biologischen Versorgungssystem des Körpers lebt: zwischen Zuckerströmen, Entzündungsfeuern, Sauerstoffmangel, Immunstress und mitochondrialen Überlastungen.

Der Tumor sitzt nicht außerhalb des Stoffwechsels. Er sitzt mitten darin. Wie eine entgleiste Schattenökonomie im Inneren des biologischen Kombinati.

### 2.7. Naturstoffe und sekundäre Pflanzenstoffe

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Naturstoff=Stoff(Pflanze)

SekundaererPflanzenstoff=Stoff(Pflanzenschutz)

Phytochemikalie=Stoff(Pflanzenwirkstoff)

Antioxidans=Stoff(Oxidationsschutz)

Entzündungshemmung=Wirkung(Entzündungsdaempfung)

Wenn man lange genug durch die metabolischen Hinterlandschaften der Krebsforschung fährt, landet man früher oder später unweigerlich bei Pflanzenstoffen. Broccoli. Kurkuma. Grüntee. Resveratrol. Flavonoide. Saponine. Salvestrole.

Anfangs klingt das alles ein wenig nach Reformhaus, Kräuterregal und alternativem Küchentischgespräch. Doch je tiefer man in die biochemischen Prozesse hineinschaut, desto interessanter wird die Sache tatsächlich.

Denn Pflanzen führen seit hunderten Millionen Jahren ihren eigenen biologischen Abwehrkrieg. Sie können nicht weglaufen. Also entwickelten sie chemische Schutzsysteme gegen Pilze, Bakterien, Fraßfeinde, UV-Strahlung und oxidativen Stress. Die Natur wurde gewissermaßen zum größten Chemielabor der Erdgeschichte. Und genau aus diesem Labor stammen viele Stoffe, die heute plötzlich auch in der Krebsforschung auftauchen.

Man darf sich Pflanzen deshalb nicht als harmlose grüne Dekoration vorstellen. Eher wie kleine biochemische Waffenfabriken mit angeschlossener Photosynthese.

**Die biochemischen Schutzsysteme der Pflanzen** Besonders spannend sind sogenannte sekundäre Pflanzenstoffe. Anders als Zucker, Eiweiße oder Fette dienen sie nicht primär der Energieversorgung der Pflanze. Stattdessen übernehmen sie Schutz-, Signal- und Regulationsfunktionen. Und genau diese Eigenschaften machen sie für die Tumorforschung interessant (Aggarwal & Shishodia, 2006).

Broccoli etwa enthält Sulforaphan. Dieser Stoff wird seit Jahren intensiv untersucht, weil er Einfluss auf Entgiftungsenzyme, oxidativen Stress, Entzündungsprozesse und

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

bestimmte Signalwege der Zellregulation haben könnte (Higdon u. a., 2012). Besonders faszinierend ist dabei, dass manche dieser Stoffe nicht einfach nur „antioxidativ“ wirken, sondern offenbar tief in metabolische Kommunikationssysteme eingreifen.

Der Körper reagiert schließlich nicht bloß auf Kalorien. Er reagiert auf Informationen. Und genau dort beginnt die eigentliche metabolische Abenteuerlandschaft.

Plötzlich tauchen überall Substanzen auf, die Signalwege beeinflussen, Enzyme modulieren, Transkriptionsfaktoren verändern oder mitochondriale Prozesse stabilisieren könnten. Manche Stoffe wirken beinahe wie kleine biologische Funktelegramme innerhalb des inneren Maschinenraums.

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, beeinflussen entzündliche und oxidative Signalmoleküle zahlreiche metabolische Prozesse gleichzeitig. Genau an diesen Schnittstellen greifen viele Pflanzenstoffe möglicherweise indirekt ein.

**Resveratrol, Curcumin und metabolische Signalmoleküle** Resveratrol beispielsweise, bekannt aus roten Trauben, wird häufig im Zusammenhang mit Entzündungshemmung, oxidativem Stress, Mitochondrienfunktion und Zellalterung diskutiert (Baur u. a., 2006). Curcumin aus Kurkuma wiederum besitzt auffällige Effekte auf verschiedene entzündliche Signalwege, darunter NF- $\kappa$ B (S. C. Gupta u. a., 2013).

Das bedeutet allerdings noch lange nicht automatisch: „Heilt Krebs.“

### **Wissenschaftliche Einordnung: komplementärer Ernährungsansatz — Forschung, keine Therapieempfehlung**

Pflanzenstoffe und „Superfoods“ werden im Internet oft als Krebsheilung verkauft. Seriöse Forschung untersucht einzelne Stoffe in Labor und Studien — das ist nicht dasselbe wie eine bewährte Behandlung. Ergänzungsmittel können Wechselwirkungen mit Chemotherapie haben. Besprechen Sie Nahrungsergänzung immer mit Ihrem Onkologenteam.

Keine gesicherte Therapieempfehlung; keine Behandlungsanleitung.

Und genau an dieser Stelle wird wissenschaftliche Ehrlichkeit entscheidend.

Viele dieser Erkenntnisse stammen aus Zellkulturversuchen, Tiermodellen oder präklinischen Studien. Der Weg von interessanten Laborbefunden bis zu belastbaren klinischen Therapien ist oft lang, kompliziert und voller Rückschläge. Manche Stoffe zeigen im Reagenzglas beeindruckende Effekte und verlieren später im menschlichen Organismus einen Großteil ihrer Wirkung.

Die Biologie des Körpers ist eben kein sauberes Laborregal. Eher ein riesiges metabolisches Industriegebiet mit Umleitungen, Rückkopplungen, Notstromaggregaten und permanentem Schichtbetrieb.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

**Naturstoffe als Unterstützung biologischer Wartungssysteme** Trotzdem tauchen bestimmte Stoffgruppen immer wieder auf: Flavonoide, Saponine, Senfö-Glykoside, Polyphenole, Catechine, Terpene oder bestimmte Bitterstoffe. Viele davon beeinflussen Prozesse wie oxidativen Stress, Entzündungsreaktionen, Zellkommunikation oder mitochondriale Regulation.

Besonders interessant ist dabei die Verbindung zur Entgiftung. Der Körper verfügt über komplexe enzymatische Systeme, um Schadstoffe abzubauen und Stoffwechselabfälle zu kontrollieren. Einige Pflanzenstoffe scheinen genau diese Prozesse zu modulieren (Surh u. a., 2003).

Man könnte sagen: Bestimmte Naturstoffe wirken möglicherweise weniger wie direkte Waffen gegen Tumoren, sondern eher wie Unterstützungstrupps für den überlasteten biologischen Wartungsdienst.

Natürlich entstand rund um dieses Thema inzwischen auch ein gigantischer Markt. Nahrungsergänzungsmittel, Superfood-Industrie, Wunderkapseln und Internetheiler versprechen oft deutlich mehr, als wissenschaftlich tatsächlich abgesichert ist. Manche Angebote erinnern eher an biologischen Goldrausch mit angeschlossener Versandabteilung.

Und trotzdem wäre es falsch, das gesamte Thema deshalb einfach lächerlich zu machen. Denn der Stoffwechsel reagiert tatsächlich empfindlich auf Ernährung, Entzündungen, oxidativen Stress, Mikronährstoffe und mitochondriale Belastungen. Krebs entsteht schließlich nicht im luftleeren Raum, sondern mitten im biochemischen Dauerbetrieb des Körpers.

**Die stille Sprache der Moleküle** Interessanterweise stammen sogar viele klassische Medikamente ursprünglich aus Pflanzenstoffen oder Naturverbindungen. Die Grenze zwischen Naturheilkunde und moderner Pharmakologie ist historisch oft deutlich durchlässiger, als viele glauben.

Vielleicht liegt die eigentliche Bedeutung sekundärer Pflanzenstoffe deshalb weniger in der Vorstellung eines magischen Einzelwirkstoffes. Sondern eher darin, dass sie zeigen, wie fein abgestimmt biologische Regulationssysteme tatsächlich arbeiten.

Der Körper gleicht eben keinem simplen Motor, in den man bloß irgendeinen Brennstoff kippt. Eher einem riesigen metabolischen Leitungsnetz mit tausenden chemischen Rückmeldungen, Reparatursignalen und Notfallprogrammen.

Und mitten durch dieses Netzwerk ziehen Pflanzenstoffe ihre stillen biochemischen Spuren – manchmal kaum bemerkbar, manchmal mit erstaunlicher Wirkung, manchmal vielleicht auch nur wie kleine metabolische Wegweiser in einem Gebiet, das die Forschung gerade erst langsam zu kartographieren beginnt.

## 2.8. Vitamine, Mikronährstoffe und Enzyme

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Vitamin=Stoff(Mikronährstoff)

Mikronährstoff=Stoff(Kleinste Menge)

Spurenelement=Stoff(Mineralspur)

Coenzym=Helfer(Enzymreaktion)

Im normalen Alltag denkt kaum jemand über Zink, Magnesium oder Selen nach. Der Körper läuft einfach. Das Herz schlägt, die Zellen arbeiten und die Energieversorgung funktioniert im Hintergrund wie ein riesiges unsichtbares Versorgungsnetz. Erst wenn Krankheit auftaucht, merkt man plötzlich, wie empfindlich dieser gesamte biologische Maschinenraum eigentlich gebaut ist.

Krebs bringt genau diese verborgenen Versorgungssysteme oft durcheinander. Der Tumor verbraucht Energie, verändert Stoffwechselwege, erzeugt Entzündungen und zieht gewissermaßen ständig Material aus dem biologischen Gesamtlager ab. Viele Patienten verlieren Gewicht, werden erschöpft oder entwickeln Mangelzustände, obwohl sie äußerlich zunächst vielleicht noch relativ stabil wirken.

Man darf sich den Körper in solchen Phasen deshalb nicht wie eine saubere Laborapparatur vorstellen. Eher wie ein riesiges Kraftwerk im Dauerstress, bei dem irgendwo ständig Leitungen heißlaufen, Kühlwasser fehlt und Reparaturtrupps versuchen, mit den letzten Ersatzteilen noch irgendwie den Betrieb aufrechtzuerhalten.

**Die kleinen Stoffe des großen Maschinenraums** Und genau dort tauchen plötzlich diese scheinbar kleinen Stoffe auf: Vitamine, Mineralien, Spurenelemente, Coenzyme und metabolische Hilffsysteme, über die man früher vielleicht höchstens im Biologieunterricht gestolpert ist.

Dabei sind viele dieser Stoffe tief in die grundlegenden Betriebsabläufe des Körpers eingebaut. Ohne Magnesium funktionieren unzählige Enzyme schlechter. Ohne Zink geraten Reparaturmechanismen und Immunsystem unter Druck. Ohne bestimmte B-Vitamine laufen zentrale Stoffwechselwege nicht mehr sauber. Und ohne ausreichende antioxidative Systeme beginnt oxidativer Stress langsam ganze Zelllandschaften anzugreifen (Trachootham u. a., 2009).

Besonders spannend wird die Sache bei den Mitochondrien. Diese winzigen biologischen Kraftwerke benötigen eine erstaunlich präzise Versorgung, damit die Energieproduktion stabil bleibt. Gerät dieses Gleichgewicht aus dem Takt, beginnt der gesamte Stoffwechsel zu schwanken. Dann laufen die inneren Generatoren plötzlich nicht mehr sauber, sondern eher wie alte Aggregate im Notbetrieb.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

Wie in Abbildung 7.2, Seite 155 sichtbar wird, hängen Energieproduktion, Zellatmung und metabolische Stabilität eng mit der Verfügbarkeit zahlreicher Mikronährstoffe und enzymatischer Prozesse zusammen.

**Stoffwechselstabilität statt Wunderpräparate** Viele Forscher beschäftigen sich deshalb mit der Frage, ob bestimmte Mikronährstoffe metabolische Prozesse stabilisieren oder therapiebedingte Belastungen zumindest teilweise abfedern könnten. Das betrifft beispielsweise Selen, Vitamin D, Omega-3-Fettsäuren, Coenzym Q10 oder bestimmte antioxidative Systeme (Donaldson, 2004).

Gleichzeitig wird das Thema schnell heikel. Denn genau an dieser Stelle beginnt oft die Grauzone zwischen seriöser Stoffwechselmedizin und völlig überdrehten Heilversprechen. Im Internet entsteht dann plötzlich der Eindruck, irgendwo gäbe es eine magische Kombination aus Vitamininfusion, Spurenelement und geheimem Pflanzenextrakt, mit der sich Krebs praktisch nebenbei erledigen ließe.

### **Wissenschaftliche Einordnung: Vitamin-C-Hochdosis — historisch und kontrovers diskutiert**

Hohe Dosen Vitamin C (oral oder als Infusion) werden seit Jahrzehnten als Krebskonzept diskutiert. Für eine alleinige oder kurative Wirkung fehlt die gesicherte Evidenz; große randomisierte Studien haben viele Hoffnungen nicht bestätigt. In Kombination mit bestimmten Chemotherapien kann hohe Dosierung sogar schaden. Vitamin C als Ergänzung nur nach Rücksprache — nicht als Ersatz für onkologische Standardtherapie.

Keine gesicherte Therapieempfehlung; keine Behandlungsanleitung.

So einfach funktioniert Biologie allerdings leider nicht.

Natürlich spielen Mikronährstoffe eine wichtige Rolle für Immunsystem, Regeneration, Enzymaktivität, Zellschutz und Stoffwechselstabilität. Doch daraus folgt nicht automatisch, dass hohe Dosierungen einzelner Stoffe Tumoren zuverlässig kontrollieren können. Manche Zusammenhänge wirken vielversprechend, andere bleiben wissenschaftlich unklar oder widersprüchlich.

**Vitamin D, antioxidativer Stress und metabolische Balance** Besonders Vitamin D sorgt seit Jahren für intensive Diskussionen. Einige Studien zeigen Zusammenhänge zwischen niedrigen Vitamin-D-Spiegeln und bestimmten Krebserkrankungen (Feldman u. a., 2014). Gleichzeitig ist bis heute nicht abschließend geklärt, welche therapeutische Bedeutung daraus tatsächlich entsteht.

Der Körper ist eben keine einfache Rechenaufgabe, bei der man bloß irgendwo „mehr Vitamin“ einfüllt und plötzlich läuft der gesamte Organismus wieder sauber.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

Ähnlich kompliziert wird es bei antioxidativen Substanzen. Einerseits schützen antioxidative Systeme gesunde Zellen vor oxidativem Stress. Andererseits arbeiten manche Krebstherapien gerade bewusst mit oxidativer Belastung, um Tumorzellen zu schädigen. Der metabolische Maschinenraum besitzt also keine einfachen Schwarz-Weiß-Regeln.

**Enzyme als biologische Spezialarbeiter** Besonders interessant bleibt die Rolle der Enzyme. Sie treiben praktisch jede biochemische Reaktion des Körpers an. Ohne Enzyme gäbe es keine Zellatmung, keine Reparatur, keine Energieproduktion, keine Entgiftung und keine Immunreaktion.

Tumoren verändern viele dieser Systeme gezielt. Manche Krebszellen bauen ihren gesamten enzymatischen Stoffwechsel um, fast so, als würden sie heimlich neue Rohrleitungen quer durch das alte Versorgungssystem legen.

Genau deshalb interessieren sich Forscher zunehmend für metabolische Enzyme und ihre möglichen Schwachstellen. Manche experimentellen Ansätze versuchen sogar, bestimmte Enzymwege gezielt zu blockieren oder Tumorzellen metabolisch zusätzlich unter Druck zu setzen.

**Gesundheit als Systemstabilität** Und trotzdem bleibt die wichtigste Erkenntnis vielleicht eine andere:

Der Körper funktioniert nicht über einzelne Wunderstoffe, sondern über hochkomplexe Zusammenarbeit. Gesundheit entsteht selten durch das eine geheime Präparat. Sie entsteht eher aus Stabilität im Gesamtsystem.

Oder anders gesagt: Es bringt wenig, irgendwo einen neuen glänzenden Generator aufzustellen, wenn gleichzeitig das halbe Leitungssystem brennt und der Rest des Kraftwerks längst im Dauerstress läuft.

Krebs verändert den gesamten biologischen Betriebszustand des Körpers. Genau deshalb interessiert sich die moderne Stoffwechselmedizin zunehmend nicht nur für Tumorzellen selbst, sondern auch für die Frage, wie man den gesamten Organismus stabil hält, während mitten im metabolischen Maschinenraum bereits Ausnahmezustand herrscht.

## 2.9. Fasten, Ketose und metabolische Interventionen

**Neue Begriffe dieses Abschnitts**

Fasten=Verzicht(Nahrung)

MetabolischeIntervention=Eingriff(Stoffwechsel)

Es gibt Momente, in denen der menschliche Körper plötzlich beginnt, sich an sehr alte Zeiten zu erinnern. Zeiten ohne Dauerverfügbarkeit. Ohne Supermarktbeleuchtung bis

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

Mitternacht. Ohne permanenten Nachschub aus Zucker, Snacks und schnellen Kalorien. Genau in solche uralten biologischen Notprogramme gerät der Organismus beim Fasten. Und erstaunlicherweise scheint Krebs auf diese Zustände oft empfindlich zu reagieren. Das bedeutet natürlich nicht automatisch, dass Fasten Krebs heilt. So einfach funktioniert diese Geschichte nicht. Aber je tiefer die Forschung in die metabolischen Landschaften der Tumorbilogie eindringt, desto deutlicher wird: Der Stoffwechsel beeinflusst weit mehr als bloß das Körpergewicht.

**Der Körper im biologischen Krisenmodus** Unter Nahrungsknappheit beginnt der Organismus umzuschalten. Die Leber produziert Ketonkörper. Insulinspiegel sinken. Reparaturprogramme verändern sich. Zellen wechseln in eine Art biologischen Krisenmodus, den moderne Wohlstandsgesellschaften fast vergessen haben (Longo & Mattson, 2014).

Man könnte sagen: Im inneren Maschinenraum wird der normale Tagesbetrieb heruntergefahren, während irgendwo tief unten alte Notstromsysteme anspringen.

Gesunde Zellen kommen mit solchen Situationen oft erstaunlich gut zurecht. Sie besitzen flexible Stoffwechselwege und können zwischen unterschiedlichen Energiequellen wechseln. Manche Tumorzellen dagegen wirken metabolisch deutlich unflexibler. Genau daraus entstand die Idee, Krebs durch gezielte Stoffwechselveränderungen zusätzlich unter Druck zu setzen (Seyfried, 2012).

Besonders bekannt wurde in diesem Zusammenhang die ketogene Ernährung. Dabei verschiebt sich die Energieversorgung des Körpers stärker Richtung Fettverbrennung und Ketonkörperproduktion (Fine & Feinman, 2009). Der Tumor verliert dadurch möglicherweise einen Teil seines bevorzugten Brennstoffüberschusses.

Zumindest theoretisch.

Denn sobald man tiefer schaut, merkt man schnell: Der Krebs ist kein einheitlicher Gegner. Manche Tumoren reagieren empfindlich auf metabolischen Stress. Andere bauen sich sofort neue Umleitungen. Wieder andere nutzen alternative Energiequellen oder verändern ihre mitochondriale Organisation.

Wie in Abbildung 7.9, Seite 180 sichtbar wird, aktiviert Fasten komplexe Anpassungsprogramme aus Recyclingprozessen, Stoffwechselumstellung und biologischer Krisenregulation. Genau diese Systeme könnten unter bestimmten Bedingungen auch die metabolische Stabilität gesunder Zellen beeinflussen.

**Die metabolische Schattenwirtschaft des Tumors** Der Tumor wirkt manchmal wie ein improvisationsbegabter Betreiber eines illegalen Versorgungssystems. Kaum sperrt man irgendwo eine Zuckerleitung, werden plötzlich hinter dem nächsten metabolischen Hinterhof neue Rohre verlegt.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

Und trotzdem bleibt die Idee faszinierend.

Denn Fasten verändert nicht nur die Energieversorgung. Auch Entzündungsprozesse, oxidativer Stress, Autophagie und hormonelle Signalräume beginnen sich zu verschieben. Der Organismus fährt gewissermaßen einen alten biologischen Wartungsmodus hoch. Beschädigte Zellbestandteile werden recycelt, Stoffwechselwege neu organisiert und manche Reparaturprogramme laufen plötzlich wieder effizienter.

Besonders die Autophagie spielt dabei eine wichtige Rolle. Zellen beginnen aufzuräumen. Wie Werkstattmeister, die nachts durch eine überlastete Fabrik laufen und endlich den ganzen liegengeliebenen Schrott entsorgen.

**Zwischen Forschung und metabolischem Jahrmarkt** Natürlich entstand rund um Fasten und Ketose inzwischen ein regelrechter Markt aus Heilsversprechen, Internetgurus, Biohacking-Programmen und metabolischen Wunderkonzepten. Manche davon besitzen interessante wissenschaftliche Grundlagen. Andere erinnern eher an eine Mischung aus Fitnessstudio, Endzeitromantik und spirituellem Dauerfastenlager. Deshalb braucht gerade dieses Thema saubere Differenzierung.

Es existieren Hinweise darauf, dass bestimmte metabolische Interventionen Therapieverträglichkeit beeinflussen, Entzündungsprozesse verändern oder Stoffwechselstress von Tumorzellen erhöhen könnten. Gleichzeitig fehlen für viele Ansätze noch große kontrollierte Langzeitstudien oder allgemeine Therapieempfehlungen.

Außerdem darf man nicht vergessen: Krebspatienten befinden sich oft ohnehin bereits in einem fragilen metabolischen Zustand. Gewichtsverlust, Muskelschwund oder Mangelernährung können gefährlich werden. Der Körper ist schließlich kein philosophisches Experimentierlabor, sondern ein biologisches Hochleistungssystem, das unter Tumorbeltung häufig ohnehin schon am Limit arbeitet.

**Krebs als Problem der Energieorganisation** Und trotzdem zeigt die Forschung etwas sehr Interessantes: Krebs scheint eng mit Energieorganisation verbunden zu sein. Nicht nur Gene. Nicht nur Mutationen. Sondern Versorgungssysteme.

Der Tumor lebt mitten im Stoffwechsel des Körpers. Zwischen Sauerstoffmangel, Zuckerströmen, Entzündungsfeuern und mitochondrialem Dauerstress versucht er permanent, seine eigene metabolische Schattenwirtschaft aufrechtzuerhalten.

Fasten und ketogene Konzepte greifen genau dort an: nicht mit dem Skalpell, nicht mit Bestrahlung, sondern über das innere Klima des biologischen Territoriums selbst.

Man könnte sagen: Während klassische Therapien oft direkt gegen die sichtbaren Tumorzellen arbeiten, versuchen metabolische Interventionen eher, die Bedingungen zu verändern, unter denen der Krebs überhaupt seinen ganzen improvisierten Betrieb organisieren kann.

## 2.10. Personalisierte Medizin und Zukunftsmodelle

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Praezisionsonkologie=Lehre(gezielteTumorthherapie)

Biomarker=Merkmal(Krankheitshinweis)

MolekularesProfil=Profil(Tumoreigenschaft)

Tumorboard=Gremium(Therapieplanung)

Lange Zeit behandelte die Krebsmedizin Tumoren beinahe wie Serienfehler aus derselben Fabrik. Brustkrebs war Brustkrebs. Lungenkrebs war Lungenkrebs. Man sortierte nach Organen, Größe und Ausbreitung. Dann bekam der Patient Therapieprotokoll A oder B – ungefähr so, als würde man bei einem alten Kraftwerk standardmäßig immer dieselben Ersatzteile austauschen, egal wo der eigentliche Schaden wirklich sitzt.

Heute beginnt dieses Denken langsam zu zerbrechen.

Denn je genauer man in die inneren Landschaften eines Tumors hineinschaut, desto deutlicher wird: Kein Krebs gleicht exakt dem anderen.

Selbst Tumoren desselben Organs können biologisch völlig unterschiedlich arbeiten. Manche wachsen aggressiv wie entfesselte Hochöfen. Andere schleichen jahrelang beinahe unauffällig durch das Gewebe. Einige reagieren empfindlich auf bestimmte Medikamente, andere bauen sofort metabolische Umleitungen und verstecken sich hinter neuen Signalwegen.

Der Krebs wirkt dadurch weniger wie ein standardisierter Defekt und eher wie eine eigene kleine Schattenökonomie mit individueller Infrastruktur, eigener Energieversorgung und improvisierter Überlebensstrategie.

(Siehe Abb. 1.1, Seite 7.)

**Der Tumor als individuelle Landschaft** Genau dort beginnt die Idee der personalisierten Medizin.

Der Begriff klingt zunächst modern und glänzend, fast ein bisschen nach Hochglanzbroschüre aus irgendeinem Zukunftslabor. Tatsächlich beschreibt er aber etwas sehr Grundsätzliches: Die Therapie soll sich stärker am individuellen biologischen Zustand des einzelnen Tumors orientieren.

Nicht mehr nur: „Wo sitzt der Krebs?“

Sondern: Wie arbeitet er? Welche Signalwege benutzt er? Wie sieht sein Stoffwechsel aus? Welche Mutationen liegen vor? Wie reagiert sein Mikromilieu? Welche Schwachstellen besitzt seine Energieversorgung?

Plötzlich wird der Tumor beinahe wie eine unbekannte Industrielandschaft kartiert.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

Moderne Sequenzierungstechniken können heute enorme Mengen genetischer Informationen analysieren (Garraway u. a., 2013). Gleichzeitig untersucht man Signalnetzwerke, Immunreaktionen, metabolische Muster und mitochondriale Veränderungen. Der Tumor wird dadurch immer stärker als dynamisches biologisches System verstanden und nicht bloß als Ansammlung mutierter Zellen.

Wie in Abbildung 1.1, Seite 7 sichtbar wird, greifen dabei Stoffwechsel, Immunologie, Gefäßsysteme, Entzündungen und Zellkommunikation tief ineinander. Genau diese Komplexität macht Krebs gleichzeitig so gefährlich – und therapeutisch so spannend.

**Gene allein erklären den Krebs nicht** Besonders faszinierend ist die Erkenntnis, dass manche Tumoren trotz ähnlicher Mutationen völlig unterschiedlich auf Therapien reagieren. Offenbar entscheiden nicht allein Gene über das Verhalten des Krebses, sondern auch Stoffwechselräume, Sauerstoffversorgung, Entzündungszustände, Immunmilieu und die gesamte mikrobiologische Umgebung.

Der Körper gleicht eben keinem statischen Bauplan. Eher einer riesigen biologischen Landschaft voller Rückkopplungen, Nebenleitungen und improvisierter Notprogramme. Genau deshalb entstehen zunehmend Therapiekonzepte, die mehrere Ebenen gleichzeitig berücksichtigen: Genetik, Immunologie, Stoffwechsel, Mikromilieu, und Lebensstilfaktoren.

Man könnte sagen: Die Medizin versucht langsam, nicht mehr nur einzelne kaputte Rohre auszutauschen, sondern den gesamten inneren Betriebszustand des biologischen Kraftwerks zu verstehen.

**Künstliche Intelligenz und biologische Kartographie** Besonders interessant wird dabei die Rolle künstlicher Intelligenz. Moderne Systeme analysieren inzwischen Bilddaten, Genprofile, Verlaufsmuster oder komplexe Stoffwechselzusammenhänge (Topol, 2019). Die Datenmengen werden so groß, dass klassische medizinische Auswertung oft kaum noch ausreicht.

Die Krebsmedizin entwickelt sich dadurch zunehmend zu einer Art biologischer Hochauflösungskartographie. Und trotzdem bleibt die Sache erstaunlich menschlich. Denn kein Algorithmus spürt: Erschöpfung, Angst, Schlaflosigkeit, Lebensgeschichte, oder Hoffnung eines Patienten. Der Krebs existiert schließlich nicht im Computer, sondern mitten im Leben realer Menschen.

Gleichzeitig entstehen weltweit neue experimentelle Ansätze: personalisierte Impfstoffe, maßgeschneiderte Immuntherapien, RNA-basierte Verfahren, zielgerichtete Stoffwechseltherapien, oder adaptive Kombinationstherapien. Manche davon wirken heute noch beinahe wie Science-Fiction. Andere werden bereits klinisch eingesetzt.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

**Zwischen Zukunft und Hype** Natürlich entsteht genau an solchen Zukunftsgrenzen auch wieder viel Hype. Manche Firmen verkaufen Visionen schneller, als die Wissenschaft belastbare Daten liefern kann. Gerade in der Krebsmedizin verschwimmen Hoffnung, Geschäft und Forschung manchmal gefährlich ineinander.

Deshalb bleibt wissenschaftliche Nüchternheit wichtig.

Nicht jede neue Technologie wird automatisch zum Durchbruch. Manche Ansätze verschwinden nach wenigen Jahren wieder. Andere verändern plötzlich ganze Bereiche der Medizin. Niemand weiß heute genau, welche Konzepte sich langfristig wirklich durchsetzen werden.

Und vielleicht ist genau das die ehrlichste Erkenntnis: Die Krebsforschung befindet sich noch immer mitten in einer riesigen biologischen Expedition.

Man fährt gewissermaßen durch unbekanntes metabolisches Gelände. Alte Landkarten stimmen nur teilweise noch. Hinter jeder neuen Kurve tauchen weitere Signalwege, neue Zelltypen oder unerwartete Stoffwechselräume auf.

**Die Zukunft der Krebsmedizin** Der Tumor erscheint dabei immer weniger wie ein einzelner Feind und zunehmend wie ein komplexes Ökosystem im Inneren des Körpers – voller Anpassung, Improvisation und evolutionärer Gegenstrategien.

Die Zukunft der Krebsmedizin wird deshalb wahrscheinlich nicht aus einer einzigen Wunderwaffe bestehen. Eher aus dem Zusammenspiel vieler Ebenen: präzisere Diagnostik, bessere Stoffwechselmodelle, stärkere Immunsteuerung, individuelle Therapieanpassung, und einem tieferen Verständnis jener biologischen Landschaften, in denen Krebs überhaupt entsteht.

Oder einfacher gesagt: Man versucht endlich nicht mehr bloß einzelne Funken zu löschen, sondern den gesamten inneren Maschinenraum zu verstehen, bevor das metabolische Kraftwerk endgültig außer Kontrolle gerät.

## Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels

- Krebstherapie greift in hochkomplexe Netzwerke ein — Nebenwirkungen sind oft systemisch, nicht „persönliches Versagen“.
- Operation, Strahlentherapie und Chemotherapie bleiben zentrale Säulen der schulmedizinischen Onkologie.
- Immuntherapien nutzen das körpereigene Abwehrsystem — mit neuen Chancen und spezifischen Risiken.
- Ernährung, Fasten und Stoffwechselansätze werden erforscht; klinische Standardtherapie ersetzen sie nicht.

## 2. Behandlungsmöglichkeiten verstehen

- Naturstoffe und Mikronährstoffe sind Forschungs- oder Ergänzungsthemen — keine pauschalen Heilversprechen.
- Personalisierte Medizin zielt auf individuelle Tumorprofile — erfordert aber noch viel Forschung.
- Komplementäre Verfahren gehören transparent als solche gekennzeichnet — nicht als gesicherte Kur.
- Therapieentscheidungen brauchen Zeit, Fachinformation und Gespräche im behandelnden Team.

## Was Sie konkret tun können

*Orientierung und Selbstorganisation — keine medizinischen Anweisungen.*

- **Therapieplan schriftlich:** Welche Ziele (Heilung, Kontrolle, Linderung)? Welche Reihenfolge der Maßnahmen?
- **Nebenwirkungen dokumentieren:** Datum, Intensität, Auswirkung auf Alltag — hilft bei Anpassungen.
- **Ergänzungsmittel offenlegen:** Alle Präparate Ihrer Onkologin/Ihrem Onkologen nennen (Wechselwirkungen).
- **Zweitmeinung:** Bei gravierenden Entscheidungen in Tumorzentren oder bei der Krankenkasse erkundigen.
- **Informationsqualität:** Studien aus seriösen Quellen (Onkologische Leitlinien, PubMed-Zusammenfassungen) bevorzugen.

### **Wissenschaftliche Einordnung: komplementäres Verfahren — historisch und umstritten**

Vitamin-C-Hochdosis-Infusionen, Hoxsey-Mischungen oder Nitrile (z. B. aus bitteren Kernen) werden teils als Krebstherapie angeboten. Die wissenschaftliche Evidenz für eine kurative Wirkung ist *nicht* gesichert; manche Verfahren können schulmedizinische Behandlungen stören oder gefährlich sein. Sie zählen zu kontrovers diskutierten bzw. historischen Ansätzen — nicht zu anerkannten Standardtherapien.

Keine gesicherte Therapieempfehlung; keine Behandlungsanleitung.

### 3. Alltag, Ernährung, Bewegung und Psyche

#### Neue Begriffe dieses Kapitels

Lebensstil=Muster(Alltag)

Fatigue=Erschoepfung(System)

Resilienz=Widerstand(System)

#### Ihr Nutzen

Nach diesem Kapitel wissen Sie ...

- was Ernährung und Bewegung während der Behandlung leisten können,
- wie Schlaf, Stress und Psyche den Alltag mitprägen,
- wo Hoffnung und realistische Grenzen zusammentreffen.

#### Wann ist das wichtig?

Während und nach der Behandlung, bei Erschöpfung, Unsicherheit und Alltagsfragen.

#### Was Sie sich merken sollten

- Kleine, stabile Routinen sind oft wirkungsvoller als radikale Umstellungen.
- Ernährung ersetzt keine onkologische Therapie.
- Angst und Hoffnung gehören zur Krankheitsverarbeitung.

### Fragen für Ihren Arzt

- Welche Bewegung ist in meiner Situation sinnvoll und sicher?
- Worauf soll ich bei Ernährung und Gewicht achten?
- Wen kann ich bei Angst, Erschöpfung oder familiärer Belastung ansprechen?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

### Sofort handeln, wenn ...

Suizidgedanken, schwere Depression, plötzliche Verwirrtheit oder extreme Schwäche — sofort professionelle Hilfe suchen.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

### Vertiefung

Zuckerstoffwechsel, Mitochondrien, Mikrobiom und metabolische Landschaften werden in Teil III vertieft.

Der Alltag ist kein Nebenschauplatz. Schlaf, Bewegung, Ernährung, Stress und soziale Unterstützung entscheiden mit darüber, wie tragfähig die nächsten Wochen werden. Die folgenden Abschnitte bündeln deshalb praxisnahe Themen aus den bisherigen Kapiteln 5 und 6.

## 3.1. Bewegung, Sauerstoff und körperliche Aktivität

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Bewegung=Aktivität(Körper)

Sauerstoff=Stoff(Atmung)

Durchblutung=Prozess(Transport)

Der menschliche Körper wurde nicht für Dauersitzen gebaut. Nicht für acht Stunden Bildschirmlicht, danach Sofa und anschließend noch ein paar Stunden künstliche Beleuchtung bis tief in die Nacht hinein.

Biologisch betrachtet ist der moderne Alltag für viele Organsysteme ungefähr das, was Stillstand für eine alte Dampfmaschine wäre: Erst wird alles langsam träge, dann setzen sich Ablagerungen fest und irgendwann läuft der gesamte Betrieb nur noch im halben Notmodus.

### 3. Alltag, Ernährung, Bewegung und Psyche

Bewegung verändert dabei weit mehr als bloß Muskeln oder Körpergewicht.

Sobald der Mensch sich körperlich belastet, beginnt praktisch der gesamte Stoffwechsel umzuschalten. Die Durchblutung steigt, Sauerstoffversorgung verändert sich, Hormone reagieren, Immunzellen werden mobilisiert und die Mitochondrien fahren ihre Energieproduktion hoch (Pedersen & Saltin, 2015).

Der Körper wirkt plötzlich nicht mehr wie ein abgestelltes Kraftwerk im Wochenendbetrieb, sondern wie ein System, das wieder aktiv reguliert und arbeitet.

**Der Organismus im metabolischen Leerlauf** Interessanterweise scheint genau dieser Zustand biologischer Aktivität für viele Regulationsprozesse entscheidend zu sein.

Denn Bewegungsmangel verändert langfristig Insulinregulation, Entzündungsprozesse, Fettstoffwechsel, Gefäßfunktion und mitochondriale Stabilität. Der Organismus gerät dabei langsam in eine Art metabolischen Leerlaufzustand.

Nichts kollabiert sofort. Aber viele Systeme arbeiten zunehmend unsauber. Wie ein riesiger Maschinenraum, in dem die Pumpen zwar noch laufen, aber kaum noch richtig Druck aufbauen.

Gerade im Zusammenhang mit Krebs interessiert sich die Forschung deshalb zunehmend für körperliche Aktivität (McTiernan, 2008). Studien zeigen Zusammenhänge zwischen Bewegungsmangel und verschiedenen Tumorarten, darunter Darmkrebs, Brustkrebs oder Stoffwechselerkrankungen mit erhöhtem Krebsrisiko.

Natürlich bedeutet das nicht: „Joggen verhindert sicher Krebs.“ So simpel funktioniert Biologie nicht.

Doch Bewegung beeinflusst offenbar genau jene inneren Landschaften, die auch für Tumorentwicklung wichtig sind: Entzündungen, Insulinspiegel, Immunaktivität, Sauerstoffversorgung und metabolische Stabilität.

**Hypoxie und metabolische Anpassung** Besonders faszinierend bleibt die Rolle des Sauerstoffs. Viele Tumoren wachsen in hypoxischen Bereichen, also Regionen mit schlechter Sauerstoffversorgung (Brown & Wilson, 2004). Dort verändern Krebszellen ihren Stoffwechsel, schalten auf Notprogramme um und entwickeln häufig besonders aggressive Eigenschaften.

Gesunde Bewegung dagegen verbessert normalerweise Durchblutung, Gefäßfunktion und Sauerstofftransport. Der gesamte Organismus arbeitet effizienter. Die biologischen Kraftwerke der Zellen erhalten gewissermaßen wieder saubereren Brennstoff und stabilere Kühlung.

Man könnte sagen: Der Körper beginnt endlich wieder unter normalen Druckverhältnissen zu laufen, statt dauerhaft im stickigen Überlastbetrieb.

### 3. Alltag, Ernährung, Bewegung und Psyche

Interessanterweise beeinflusst körperliche Aktivität auch das Immunsystem. Moderate Bewegung scheint entzündliche Prozesse zu regulieren und bestimmte Immunfunktionen zu stabilisieren (Campbell & Turner, 2018).

Gleichzeitig zeigt sich erneut: Zu viel Belastung kann ebenfalls problematisch werden. Der Körper reagiert empfindlich auf chronischen Extremstress. Der Organismus braucht eben keinen permanenten Hochleistungskrieg gegen sich selbst. Er braucht rhythmische Aktivität und funktionierende Regeneration.

**Bewegung im biologischen Ausnahmezustand** Gerade Krebspatienten erleben häufig massive Erschöpfung. Therapien, Entzündungen und Stoffwechselveränderungen bringen den gesamten Energiehaushalt durcheinander. Lange Zeit glaubte man deshalb, körperliche Schonung sei grundsätzlich sinnvoll.

Heute zeigt sich zunehmend, dass angepasste Bewegung vielen Patienten helfen kann: Muskelabbau zu verlangsamen, Stoffwechsel zu stabilisieren oder die allgemeine Belastbarkeit zu verbessern (Schmitz u. a., 2010).

Natürlich immer abhängig vom individuellen Zustand.

Denn Krebs bedeutet oft biologischen Ausnahmezustand. Der Körper arbeitet bereits unter enormer Belastung. Genau deshalb geht es nicht um Leistungsfetisch oder Fitnesskult. Sondern um etwas Grundsätzlicheres: Der Organismus scheint Bewegung zu brauchen, damit seine inneren Systeme überhaupt stabil regulieren können.

**Der Körper als dynamisches Versorgungssystem** Vielleicht erklärt genau das auch, warum moderne Zivilisationskrankheiten so eng miteinander verbunden wirken: Übergewicht, Diabetes, chronische Entzündungen, Gefäßerkrankungen und bestimmte Krebsarten tauchen häufig innerhalb derselben metabolischen Landschaften auf.

Der Körper ist eben keine Ansammlung einzelner Ersatzteile. Eher gleicht er einem gigantischen biologischen Versorgungssystem, das auf Rhythmus, Durchblutung, Energiefluss und Bewegung angewiesen ist.

Oder einfacher gesagt: Wenn der innere Maschinenraum zu lange stillsteht, beginnen irgendwann nicht nur die Leitungen zu rosten – dann verändert sich langsam das gesamte metabolische Klima, in dem Gesundheit überhaupt noch stabil existieren kann.

## 3.2. Schlaf, Regeneration und biologische Rhythmen

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Schlaf=Zustand(Regeneration)

### 3. Alltag, Ernährung, Bewegung und Psyche

$\text{TagNachtRhythmus} = \text{Rhythmus}(\text{Tag}_{\text{Nacht}})$

$\text{Schichtarbeit} = \text{Arbeit}(\text{Rhythmusverschiebung})$

Der moderne Mensch behandelt Schlaf oft wie lästige Stillstandszeit. Möglichst effizient wegoptimieren, irgendwie überleben, morgens Kaffee hinein und weiter.

Biologisch betrachtet ist das ungefähr so sinnvoll, wie ein Kraftwerk jahrelang ohne Wartung, Kühlung und nächtliche Systemkontrolle durchlaufen zu lassen.

Eine Zeitlang funktioniert das erstaunlich gut. Dann beginnen langsam die ersten Störungen.

Denn Schlaf ist weit mehr als bloß Ruhe. Während der Organismus äußerlich scheinbar abschaltet, läuft im Inneren ein gigantischer Regenerationsbetrieb an. Reparaturprogramme werden aktiviert, Hormonsysteme synchronisieren sich neu, Immunzellen verändern ihre Aktivität und Stoffwechselprozesse schalten auf einen völlig anderen Modus um (Walker, 2017).

Man könnte sagen: Nachts übernimmt im biologischen Maschinenraum die Wartungsschicht.

**Der Organismus lebt von Rhythmus** Besonders spannend wird das beim Blick auf Krebs. Chronischer Schlafmangel beeinflusst Entzündungsprozesse, Stresshormone, Immunfunktionen und Stoffwechselregulation. Der Körper verliert dabei langsam jene rhythmische Stabilität, auf die viele Reparaturmechanismen angewiesen sind.

Wie ein riesiges Leitungssystem, bei dem die nächtlichen Wartungsintervalle ständig ausfallen, während tagsüber trotzdem weiter Vollbetrieb gefahren wird.

Interessanterweise arbeiten viele biologische Prozesse nach festen inneren Rhythmen. Hormone steigen und fallen zu bestimmten Zeiten, Körpertemperatur verändert sich, Zellteilungen folgen teilweise circadianen Mustern und selbst Immunreaktionen scheinen zeitlich organisiert zu sein (Bass & Takahashi, 2010).

Der Organismus lebt also nicht bloß von Energie allein, sondern auch von Rhythmus. Gerät dieser Rhythmus dauerhaft aus der Kontrolle, entstehen metabolische Verschiebungen: Insulinregulation verändert sich, Entzündungsmarker steigen, Cortisol bleibt erhöht und Reparaturprozesse verlieren an Präzision.

Wie in Abbildung 3.1, Seite 60 sichtbar wird, hängen Schlaf, Stoffwechsel und biologische Reparaturprozesse eng miteinander zusammen.

**Schichtarbeit und biologischer Taktverlust** Besonders Schichtarbeit geriet deshalb in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus der Forschung. Menschen, die dauerhaft gegen ihren biologischen Tag-Nacht-Rhythmus arbeiten, zeigen teilweise erhöhte Risiken für bestimmte Erkrankungen (Straif u. a., 2007).

### 3. Alltag, Ernährung, Bewegung und Psyche



Abbildung 3.1.: Schlaf und biologische Rhythmen beeinflussen Regeneration, Stoffwechsel, Immunfunktion und hormonelle Stabilität.

### 3. Alltag, Ernährung, Bewegung und Psyche

Der Körper läuft dabei gewissermaßen permanent gegen seine eigene innere Taktung. Wie ein Kraftwerk, dessen Steuerzentrale ständig falsche Uhrzeiten erhält.

Besonders faszinierend bleibt die Verbindung zwischen Schlaf und Immunsystem. Während der Nacht organisiert der Organismus nicht nur Erholung, sondern auch immunologische Feinabstimmung. Chronischer Schlafmangel verändert offenbar die Aktivität bestimmter Abwehrzellen und beeinflusst entzündliche Signalketten (Besedovsky u. a., 2019).

Und genau dort taucht wieder dieselbe große metabolische Grundmelodie auf: Dauerstress, Entzündungen, gestörte Regeneration und erschöpfte Reparaturprogramme schaffen jene biologischen Landschaften, in denen Stabilität langsam verloren geht.

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 dargestellt, beeinflussen Dauerstress und Schlafmangel langfristig hormonelle und immunologische Regulationsräume.

**Der Körper im nächtlichen Wartungsbetrieb** Natürlich wäre es unseriös zu behaupten: „Schlechter Schlaf verursacht direkt Krebs.“ So einfach funktioniert Biologie nicht.

Aber immer deutlicher zeigt sich, dass Gesundheit nicht bloß aus einzelnen Maßnahmen entsteht. Der Organismus braucht Rhythmus, Erholung, Regeneration und metabolische Entlastung, damit seine komplexen Kontrollsysteme überhaupt sauber arbeiten können. Interessanterweise berichten viele Krebspatienten schon früh über Schlafstörungen. Der Körper gerät durch Entzündungen, Stress, Hormonverschiebungen und psychische Belastung oft in dauerhafte Alarmbereitschaft.

Manche Menschen fühlen sich, als würde ihr innerer Maschinenraum selbst nachts nicht mehr richtig herunterfahren. Wie eine Fabrikanlage, in der irgendwo ständig Warnsirenen laufen und niemand mehr die Hauptschalter auf Ruhemodus stellen kann.

**Gesundheit als rhythmische Stabilität** Gerade deshalb interessieren sich viele Forscher zunehmend nicht nur für Medikamente oder Tumorzellen allein, sondern auch für die Frage: Wie stabil bleibt der gesamte biologische Betriebszustand des Organismus?

Denn Krebs entsteht nicht isoliert außerhalb des Lebensrhythmus eines Menschen. Der Tumor wächst mitten in einem Körper, dessen Hormonsysteme, Immunprogramme, Mitochondrien und Stoffwechselzyklen permanent versuchen, Ordnung aufrechtzuerhalten.

Oder einfacher gesagt: Gesundheit bedeutet nicht bloß genug Energie zu besitzen. Entscheidend ist auch, ob der innere Maschinenraum überhaupt noch Zeit bekommt, sich regelmäßig selbst zu reparieren, bevor aus chronischer Überlastung irgendwann ein dauerhafter biologischer Ausnahmezustand wird.

### 3.3. Psyche, Stress und systemische Belastung

Der menschliche Körper unterscheidet erstaunlich schlecht zwischen echten Gefahren und dauerhaftem inneren Alarmzustand. Für den biologischen Maschinenraum macht es oft kaum Unterschied, ob irgendwo tatsächlich ein Säbelzahn tiger durchs Unterholz schleicht oder ob nachts um drei zum fünften Mal dieselben Sorgen durch den Kopf kreisen.

Stress bleibt Stress.

Kurzfristig ist das sogar sinnvoll. Der Organismus fährt hoch, Energie wird mobilisiert, Aufmerksamkeit steigt, das Herz schlägt schneller und der gesamte Körper schaltet in Bereitschaft. Früher konnte genau das über Leben und Tod entscheiden.

Das Problem beginnt erst, wenn der Alarmzustand nie wieder richtig endet. Dann läuft der innere Maschinenraum irgendwann permanent unter Hochdruck.

**Der Organismus im Daueralarm** Stresshormone wie Cortisol und Adrenalin beeinflussen Immunsystem, Entzündungsprozesse, Schlaf, Insulinregulation und Stoffwechsel (McEwen, 1998). Anfangs kompensiert der Organismus das erstaunlich gut. Doch über Jahre hinweg verändert chronische Belastung oft das gesamte biologische Milieu.

Wie ein Kraftwerk, dessen Warnsirenen dauerhaft laufen, während gleichzeitig sämtliche Kühl- und Wartungssysteme immer stärker an ihre Grenzen geraten.

Besonders faszinierend bleibt dabei die enge Verbindung zwischen Psyche und Körper. Lange Zeit behandelte die Medizin beides beinahe getrennt voneinander: hier die Gedanken, dort die Biologie.

Heute wird immer deutlicher, dass diese Trennung künstlich ist. Gefühle, Stress und psychische Belastungen verändern reale Stoffwechselprozesse. Entzündungsmarker steigen, Schlafrhythmen kippen, Immunreaktionen verschieben sich und der gesamte Organismus gerät langsam in einen anderen Betriebszustand.

**Kein Schuldmodell** Natürlich bedeutet das nicht: „Krebs entsteht einfach durch negative Gedanken.“

Solche vereinfachten Behauptungen sind nicht nur wissenschaftlich falsch, sondern für Patienten oft grausam. Niemand bekommt Krebs, weil er „nicht positiv genug gedacht“ hätte.

Und trotzdem beeinflusst chronische Belastung offenbar jene biologischen Landschaften, in denen Reparatur, Regeneration und metabolische Stabilität funktionieren müssen.

Interessanterweise berichten viele Patienten schon lange vor einer Diagnose über anhaltende Erschöpfung, Schlafprobleme, innere Unruhe oder das Gefühl permanenter Überforderung.

### 3. Alltag, Ernährung, Bewegung und Psyche

Nicht weil Stress direkt den Tumor „erschafft“, sondern weil der gesamte Organismus oft bereits über lange Zeit unter systemischer Belastung gearbeitet hat.

Wie eine alte Industrieanlage, die äußerlich noch funktioniert, intern jedoch längst überall kleine Überhitzungen und Materialermüdungen entwickelt.

**Der moderne Mensch im Dauerprovisorium** Besonders problematisch wird moderner Dauerstress durch seine Kombination mit Schlafmangel, Bewegungsmangel, ständiger Reizüberflutung, schlechter Ernährung und sozialer Isolation. Der Körper erhält kaum noch echte Regenerationsphasen. Stattdessen läuft der innere Betriebszustand permanent irgendwo zwischen Alarmbereitschaft und Erschöpfung. Man könnte sagen: Viele Menschen leben biologisch im Dauerprovisorium.

Interessanterweise beeinflusst Stress sogar das Tumormikromilieu. Einige Forschungen deuten darauf hin, dass chronische Stressreaktionen Entzündungen verstärken, Gefäßbildung beeinflussen oder Immunfunktionen verändern könnten (Antoni u. a., 2006).

Der Krebs wächst also möglicherweise nicht völlig unabhängig vom allgemeinen inneren Betriebszustand des Organismus.

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 dargestellt, beeinflussen dauerhafte Stresszustände langfristig entzündliche und metabolische Landschaften des Organismus.

**Die Grenzen biologischer Anpassung** Gleichzeitig bleibt wissenschaftliche Vorsicht wichtig. Die Zusammenhänge sind komplex. Nicht jede Belastung führt automatisch zu Krankheit, und viele Menschen überstehen extreme Krisen biologisch erstaunlich stabil.

Der menschliche Körper besitzt enorme Anpassungsfähigkeit. Doch genau diese Anpassungsfähigkeit besitzt Grenzen.

Und vielleicht liegt darin eines der großen Probleme moderner Gesellschaften: Der Organismus ist evolutionär für kurzfristige Krisen gebaut – nicht für jahrzehntelangen psychischen Dauerbeschuss unter Neonlicht, Informationsstress und permanentem Leistungsdruck.

Besonders auffällig bleibt dabei die Rolle sozialer Stabilität. Einsamkeit, Angst und dauerhafte Unsicherheit beeinflussen den inneren Betriebszustand oft stärker, als viele lange glaubten.

Der Mensch bleibt eben kein isoliertes Einzelorgan, sondern ein hochsensibles biologisches Gesamtsystem.

**Das psychische Klima des Organismus** Oder einfacher gesagt: Der innere Maschinenraum reagiert nicht nur auf Nahrung und Sauerstoff, sondern auch auf das Klima, in dem ein Mensch lebt.

Und wenn dieses Klima über Jahre hinweg aus Druck, Erschöpfung, Entzündungsstress und fehlender Regeneration besteht, beginnt irgendwann der gesamte Organismus anders zu arbeiten – langsamer, instabiler und anfälliger für jene biologischen Entgleisungen, aus denen später manchmal auch Tumoren entstehen können.

## 3.4. Ernährung zwischen Hoffnung und Realität

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Ernaehrung=Versorgung(Naehrstoffe)

Kaum ein Thema erzeugt bei Krebs so viel Hoffnung, Streit und Verwirrung wie Ernährung. Für die einen ist sie beinahe der Schlüssel zur Heilung. Für die anderen bloß ein nebensächlicher Begleitfaktor ohne echte therapeutische Bedeutung. Und irgendwo dazwischen sitzen Patienten, die einfach nur verstehen wollen, was ihrem Körper überhaupt noch guttut.

Genau dort beginnt das Problem. Denn der moderne Mensch lebt inzwischen in einer Welt voller: Diäten, Superfoods, Wunderkapseln, Internetgurus und aggressiver Heilsversprechen.

Kaum liegt irgendwo eine Krebsdiagnose vor, beginnt plötzlich ein gigantischer Markt biologischer Erlösungsangebote: Zucker komplett verbieten. Nur noch Rohkost. Dreißig Nahrungsergänzungsmittel am Tag. Exotische Pflanzenextrakte aus irgendwelchen Bergregionen. Oder die nächste „revolutionäre“ Stoffwechselkur, die angeblich alles verändert.

Manchmal wirkt das Ganze wie eine Mischung aus Goldgräberstimmung, Apothekenregal und Endzeit-Survivalcamp.

**Der Stoffwechsel reagiert auf Nahrung** Und trotzdem wäre es falsch, Ernährung deshalb einfach abzutun.

Denn natürlich beeinflusst Nahrung den Stoffwechsel. Der Körper baut aus dem, was täglich aufgenommen wird: Hormone, Membranen, Signalstoffe, Immunreaktionen und Energieversorgung.

Ernährung verändert Entzündungsprozesse, Insulinspiegel, Mikrobiom und mitochondriale Belastung. Der Organismus reagiert also keineswegs neutral auf seine langfristigen Lebensbedingungen. Nur eben deutlich komplizierter, als viele einfache Heilsysteme behaupten.

### 3. Alltag, Ernährung, Bewegung und Psyche

Besonders faszinierend bleibt dabei, wie unterschiedlich Menschen auf dieselben Ernährungsformen reagieren. Was den einen stabilisiert, belastet den anderen möglicherweise. Der Stoffwechsel funktioniert eben nicht wie ein standardisiertes Industrieaggregat mit identischen Ersatzteilen. Eher wie ein hochkomplexes biologisches Ökosystem mit individueller Geschichte, eigener Belastungslage und unterschiedlich robusten Reparatursystemen.

Wie in Abbildung 8.1, Seite 191 sichtbar wird, greifen Stoffwechsel, Ernährung und hormonelle Regulation tief ineinander.

**Der Körper im metabolischen Ausnahmezustand** Gerade Krebspatienten erleben oft massive Veränderungen: Gewichtsverlust, Appetitprobleme, Verdauungsstörungen, Entzündungsstress oder Erschöpfung.

Viele Therapien greifen tief in den gesamten Stoffwechsel ein. Nahrung wird plötzlich nicht mehr bloß Genuss oder Gewohnheit, sondern Teil eines täglichen biologischen Überlebensmanagements.

Und genau dort beginnt die eigentliche Bedeutung metabolischer Unterstützung. Nicht als magische Wunderheilung. Sondern als Versuch, den inneren Maschinenraum überhaupt stabil arbeitsfähig zu halten. Interessanterweise tauchen dabei immer wieder ähnliche Themen auf: Blutzuckerregulation, Entzündungsreduktion, Mikrobiomstabilität, ausreichende Eiweißversorgung, Mikronährstoffe und mitochondriale Belastung. Der Organismus scheint besonders dann Probleme zu bekommen, wenn mehrere dieser Systeme gleichzeitig unter Druck geraten.

Wie ein großes Kraftwerk, bei dem nicht nur die Brennstoffzufuhr schwankt, sondern gleichzeitig noch Kühlung, Wartung und Stromverteilung ausfallen.

**Zwischen Forschung und Heilsversprechen** Natürlich bleibt wissenschaftliche Vorsicht wichtig. Viele Ernährungsmodelle werden viel aggressiver vermarktet, als sie tatsächlich belegt sind. Manche Behauptungen rund um Ketose, Fasten, Nahrungsergänzung oder sekundäre Pflanzenstoffe klingen beeindruckend, beruhen aber oft noch auf Zellversuchen, Tiermodellen oder kleinen Studien.

Das bedeutet nicht, dass solche Ansätze wertlos wären. Es bedeutet nur: Biologie ist komplizierter als Werbeprospekte. Und vielleicht liegt genau dort die ehrlichste Perspektive.

Ernährung beeinflusst wahrscheinlich nicht direkt „den Krebs“ als isolierten Feind. Sie beeinflusst vielmehr das gesamte biologische Milieu, in dem Entzündungen, Immunreaktionen, Regeneration und Stoffwechsel überhaupt stattfinden.

Der Tumor wächst schließlich nicht außerhalb des Körpers. Er lebt mitten im inneren Versorgungssystem des Organismus.

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 dargestellt, entstehen Stoffwechselprobleme häufig innerhalb komplexer entzündlicher und metabolischer Belastungslandschaften.

**Stabilität statt Wunderheilung** Deshalb erscheint die eigentliche Frage vielleicht weniger: „Welche Nahrung heilt Krebs?“ Sondern eher: Wie lässt sich ein biologischer Betriebszustand unterstützen, der Stabilität, Regeneration und metabolische Belastbarkeit möglichst lange aufrechterhält?

Denn der Körper kämpft selbst unter schwerster Erkrankung permanent weiter: repariert, kompensiert, organisiert neue Energieflüsse und versucht Ordnung im inneren Chaos zu bewahren.

Vielleicht ist Ernährung deshalb weder Wundermedizin noch belanglose Nebensache. Sondern eher Teil jener großen biologischen Grundbedingungen, unter denen der menschliche Organismus überhaupt arbeiten muss.

Oder einfacher gesagt: Man kann keinen überlasteten Maschinenraum dauerhaft stabil halten, wenn gleichzeitig ständig falscher Brennstoff, Dauerstress und fehlende Wartung auf das gesamte System einwirken.

## 3.5. Der Patient zwischen Angst und Hoffnung

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Krisenmanagement=Prozess(Stabilisierung)

Vielleicht versteht man Krebs erst wirklich, wenn man plötzlich selbst im Wartezimmer sitzt. Nicht mehr als Leser. Nicht mehr als Forscher. Nicht mehr als Zuschauer. Sondern als Mensch, dessen eigener Körper plötzlich nicht mehr selbstverständlich funktioniert. Genau dort verändert sich alles.

Die meisten Patienten erinnern sich später erstaunlich genau an diesen Moment: ein Anruf, ein Arztgespräch, ein Bild auf dem Bildschirm, ein einzelner Satz.

Und plötzlich entsteht mitten im normalen Leben ein Riss. Denn Krebs ist niemals nur Biologie. Die Krankheit greift gleichzeitig in: Zukunft, Sicherheit, Selbstbild, Familie, Alltag und Zeitgefühl ein. Der Organismus arbeitet zwar biologisch weiter, aber innerlich verändert sich oft schlagartig die gesamte Wahrnehmung des Lebens.

Man könnte sagen: Der Mensch blickt plötzlich direkt in seinen eigenen inneren Maschinenraum – und erkennt zum ersten Mal, wie verletzlich dieses ganze System eigentlich ist.

**Die Unsicherheit der Diagnose** Besonders schwer wird dabei die Unsicherheit.

### 3. Alltag, Ernährung, Bewegung und Psyche

Wird die Therapie wirken? Wie weit ist die Krankheit? Was bedeutet die Diagnose wirklich? Welche Chancen bestehen? Und wem kann man überhaupt noch glauben?

Genau dort beginnt oft jene riesige Informationslawine moderner Krebsmedizin: Internetforen, Studien, Wundertherapien, Heilversprechen, alternative Methoden, Statistiken und Überlebensraten. Manche Menschen versuchen dann verzweifelt, durch immer neue Informationen Kontrolle zurückzugewinnen. Wie jemand, der mitten im Sturm hektisch versucht, gleichzeitig sämtliche Leitpläne eines riesigen Kraftwerks zu verstehen. Und trotzdem bleibt vieles emotional kaum kontrollierbar. Angst. Hoffnung. Verdrängung. Kampfgeist. Erschöpfung. Wut. Manchmal alles gleichzeitig. Vielleicht erklärt genau das auch, warum Krebs so häufig existenzielle Fragen auslöst.

Die Krankheit zwingt den Menschen plötzlich dazu, über Dinge nachzudenken, die im normalen Alltag oft erfolgreich verdrängt werden: Vergänglichkeit, Zeit, Abhängigkeit und Verletzlichkeit.

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, wirken biologische Belastungen und emotionale Erfahrungen häufig gleichzeitig auf den Organismus ein.

**Der Organismus im Krisenmodus** Und trotzdem entsteht gleichzeitig etwas Erstaunliches.

Viele Patienten berichten später, dass sich ihr Blick auf das Leben verändert hat: wichtiger werden plötzlich: Ruhe, Nähe, Schlaf, Natur, Zeit, Atem und normale Tage. Dinge also, die der moderne Mensch oft erst wieder wahrnimmt, wenn der innere Maschinenraum nicht mehr selbstverständlich funktioniert. Interessanterweise zeigt sich genau dort erneut die Bedeutung metabolischer Stabilität.

Patienten spüren häufig intuitiv, dass der Körper nicht bloß „gegen den Tumor kämpft“, sondern insgesamt versucht: Energie zu organisieren, Entzündungen zu kontrollieren, Regeneration aufrechtzuerhalten und trotz Therapiebelastung biologisch stabil zu bleiben.

Der Organismus arbeitet dann im permanenten Krisenmanagement. Wie ein riesiges Kraftwerk, das unter Dauerbelastung trotzdem versucht, nicht vollständig zusammenzubrechen. Vielleicht liegt deshalb eine der wichtigsten Aufgaben moderner Medizin nicht nur im Bekämpfen des Tumors selbst.

Sondern auch darin, Menschen Orientierung zu geben, Unsicherheit ehrlich auszuhalten und den Organismus insgesamt möglichst stabil durch diese extreme Belastung zu begleiten.

**Hinter jeder Diagnose steht ein Mensch** Denn hinter jeder Diagnose steht ein realer Mensch.

### *3. Alltag, Ernährung, Bewegung und Psyche*

Ein Mensch mit: Geschichte, Familie, Ängsten, Hoffnungen, Gewohnheiten und einem Körper, der oft über Jahrzehnte erstaunlich zuverlässig funktioniert hat.

Und genau deshalb darf Krebs niemals nur als biologisches Problem betrachtet werden. Sondern immer auch als zutiefst menschliche Erfahrung.

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, geraten biologische Systeme unter langfristiger Belastung häufig schleichend in instabile Zustände.

**Dem eigenen Körper wieder zuhören** Oder einfacher gesagt: Hinter jedem Tumor steht ein Organismus, der versucht weiterzuleben – und ein Mensch, der plötzlich lernen muss, seinem eigenen inneren Maschinenraum wieder zuzuhören.

## **Teil II.**

### **Die häufigsten Krebsarten verstehen**

## 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

### Neue Begriffe dieses Kapitels

Krebsart=Form(Tumor)

Leukaemie=Krebsart(Blutsystem)

### Ihr Nutzen

Nach diesem Kapitel wissen Sie ...

- wichtige Krebsarten anhand wiederkehrender Patientenfragen einordnen,
- Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Tumorarten erkennen,
- Warnzeichen und nächste Gesprächspunkte vorbereiten.

### Wann ist das wichtig?

Wenn Sie Ihre eigene Diagnose-Art besser einordnen oder Angehörige unterstützen möchten.

### Was Sie sich merken sollten

- Jede Krebsart hat eigene Warnzeichen, Diagnostik und Therapiewege.
- Das Patientenschema wird hier einmal erklärt — die einzelnen Abschnitte folgen ihm.
- Biologische Vertiefung steht in Teil III.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

##### Fragen für Ihren Arzt

- Welcher Tumortyp und welches Stadium liegen bei mir vor?
- Welche Behandlungsschritte sind als Nächstes geplant?
- Welche Warnzeichen muss ich sofort melden?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

##### Sofort handeln, wenn ...

Plötzliche schwere Symptome, neurologische Ausfälle, Atemnot oder unstillbare Blutungen — sofort medizinische Hilfe.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

##### Vertiefung

Tumorbiologie und Stoffwechselmodelle: Teil III.

### Das einheitliche Patientenschema

Die folgenden Krebsarten-Abschnitte sind so aufgebaut, dass Sie sich schnell zurechtfinden. Statt vor jedem Kapitel dieselbe Übersicht zu wiederholen, gilt hier einmalig das gemeinsame Orientierungsschema:

1. **Was ist das?** — Was bedeutet diese Krebsart, und worum geht es biologisch?
2. **Erste Warnzeichen** — Welche Hinweise und Unsicherheiten sind typisch?
3. **Wie wird die Diagnose gestellt?** — Welche Schritte gehören zur Abklärung?
4. **Stadieneinteilung** — Wie ordnet die Medizin Ausbreitung und Verlauf ein?
5. **Behandlungsmöglichkeiten** — Welche Wege gibt es grundsätzlich?
6. **Nebenwirkungen** — Was kann den Alltag belasten?
7. **Was können Sie selbst tun?** — Welche konkreten Schritte helfen im Gespräch und Alltag?
8. **Nachsorge** — Was gehört zur längerfristigen Begleitung?
9. **Wann sofort Hilfe nötig ist** — Welche Warnsignale dulden keinen Aufschub?

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Nicht jeder Abschnitt füllt alle neun Punkte gleich ausführlich — manche Krebsarten brauchen mehr Raum bei Diagnose oder Therapie, andere bei Warnzeichen. Die Reihenfolge bleibt aber gleich, damit Sie Kapitel leichter vergleichen und gezielt nachschlagen können. Einzelne Abschnitte beginnen deshalb direkt mit dem Inhalt und verweisen nur kurz auf dieses Schema.

Krebs ist keine einzelne Krankheit. Der Begriff beschreibt vielmehr eine ganze Familie biologischer Ausnahmezustände, die sich in völlig unterschiedlichen Organen, Geweben und Stoffwechselräumen entwickeln können.

Manche Tumoren wachsen langsam über viele Jahre. Andere breiten sich aggressiv innerhalb weniger Monate aus. Einige bleiben lange lokal begrenzt, während andere früh beginnen, über Blut- und Lymphsysteme neue Regionen des Körpers zu besiedeln. Und trotzdem tauchen überall dieselben großen biologischen Grundmuster wieder auf: gestörte Zellteilung, Entzündungen, metabolischer Stress, Sauerstoffmangel, Immunflucht und chaotische Energieorganisation.

**Jede Krebsart erzeugt ihre eigene metabolische Landschaft** Besonders faszinierend ist dabei, dass jede Tumorart gewissermaßen ihre eigene biologische Topographie entwickelt.

Brustkrebs bewegt sich stark innerhalb hormoneller Signalmräume. Darmkrebs entsteht mitten im mikrobiellen Ökosystem des Verdauungstraktes. Lungenkrebs steht häufig unter jahrzehntelangem oxidativem Stress durch Schadstoffe, Feinstaub oder chronische Entzündungen. Leukämien wiederum betreffen direkt die inneren Kommunikations- und Versorgungssysteme des Körpers.

Der Tumor verhält sich dabei oft wie eine improvisierte Schattenstruktur innerhalb des Organismus. Er zapft Blutgefäße an, verändert Stoffwechselwege, beeinflusst Immunreaktionen und beginnt schrittweise, seine eigene biologische Infrastruktur aufzubauen.

Wie ein improvisierter Nebenbetrieb im biologischen Versorgungssystem versucht der Krebs ständig, neue Versorgungswege zu finden, sobald eine Hauptverbindung blockiert wird.

**Der Tumor als biologisches Ökosystem** Lange Zeit betrachtete die Medizin Tumoren hauptsächlich als lokale Ansammlungen entarteter Zellen. Moderne Forschung zeigt jedoch zunehmend, dass Krebs eher wie ein komplexes biologisches Ökosystem funktioniert.

Innerhalb eines Tumors entstehen: Sauerstoffgradienten, metabolische Nischen, Entzündungsräume, Gefäßneubildungen, Immunreaktionen und chaotische Kommunikationssysteme.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Wie in Abbildung 7.7, Seite 172 sichtbar wird, existiert der Tumor niemals isoliert. Er steht permanent in Wechselwirkung mit seiner Umgebung. Genau diese Dynamik macht Krebs gleichzeitig so anpassungsfähig und therapeutisch schwierig.

Besonders bemerkenswert ist die Fähigkeit vieler Tumoren, ihren Stoffwechsel flexibel umzustellen. Wird ein Signalweg blockiert, entstehen häufig alternative Versorgungsrouten. Fehlt Sauerstoff, verändern Tumorzellen ihre Energiegewinnung. Wird das Immunsystem aktiviert, entwickeln manche Krebsarten neue Strategien der Immunflucht.

Der Tumor erscheint dadurch beinahe wie eine improvisationsbegabte Schattenökonomie innerhalb des biologischen Gesamtsystems.

**Warum Krebsarten biologisch so unterschiedlich sind** Obwohl viele Tumoren gemeinsame Grundmuster besitzen, unterscheiden sie sich biologisch oft erheblich. Manche Krebsarten reagieren stark auf hormonelle Veränderungen, andere auf Umweltgifte, chronische Entzündungen oder Stoffwechselstress.

Auch die Geschwindigkeit biologischer Entgrenzung variiert massiv. Einige Tumoren bleiben lange relativ stabil, während andere früh beginnen, umliegendes Gewebe zu infiltrieren oder Metastasen zu bilden.

Die moderne Onkologie versucht deshalb zunehmend, nicht bloß den Ort eines Tumors zu bestimmen, sondern seine gesamte biologische Landschaft zu verstehen: Wie organisiert der Tumor Energie? Welche Signalwege nutzt er? Wie sieht sein Mikromilieu aus? Wie reagiert das Immunsystem? Welche metabolischen Anpassungen liegen vor?

Man könnte sagen: Die Medizin kartiert heute zunehmend nicht nur den Tumor selbst, sondern den gesamten biologischen Maschinenraum, in dem dieser Tumor entstanden ist.

*(Siehe Abb. 1.1, Seite 7.)*

**Krebs als Verlust biologischer Stabilität** Dieses Kapitel führt deshalb durch verschiedene Krebsarten und ihre besonderen biologischen Eigenschaften. Nicht um Angst zu erzeugen, sondern um sichtbar zu machen, wie unterschiedlich Krebs innerhalb des menschlichen Organismus auftreten kann.

Denn jede Tumorart erzählt letztlich ihre eigene Geschichte darüber, wie fragile biologische Ordnung langsam ihre Stabilität verliert.

Manchmal beginnt diese Entwicklung mit chronischen Entzündungen. Manchmal mit Umweltgiften, hormonellen Veränderungen oder jahrzehntelangem metabolischem Stress. Oft greifen viele Prozesse gleichzeitig ineinander.

## 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Der Tumor erscheint dadurch weniger wie ein plötzlich auftauchender Fremdkörper und stärker wie das Ergebnis langfristiger biologischer Fehlanpassungen innerhalb eines hochkomplexen lebenden Systems.

*Leitmotiv — Krebs als Störung biologischer Regulationsräume:* Jede Krebsart formt eigene Stoffwechsel- und Mikromilieu-Bedingungen — der Tumor ist Teil eines größeren Regulationsgefüges.

### 4.1. Brustkrebs

*Dieses Kapitel folgt dem einheitlichen Patientenschema (siehe Beginn von Die häufigsten Krebsarten verstehen).*

#### Ihr Nutzen

Nach diesem Kapitel wissen Sie ...

- was Brustkrebs bedeutet und warum es unterschiedliche Typen gibt,
- welche ersten Hinweise und Untersuchungsschritte typisch sind,
- welche Fragen vor Therapieentscheidungen sinnvoll sind.

#### Was Sie sich merken sollten

- Brustkrebs ist keine einheitliche Erkrankung.
- Viele Tumoren werden heute früher erkannt und gezielter behandelt.
- Antihormonelle Therapien können jahrelang Nebenwirkungen mitbringen.
- Allgemeine Therapiewege: Kapitel 2.

#### Sofort handeln, wenn ...

Plötzliche starke Atemnot, unstillbare Blutungen, Bewusstseinsstörungen oder neu aufgetretene neurologische Ausfälle — sofort medizinische Hilfe (Notruf 112). Unklare, aber anhaltende Veränderungen der Brust zeitnah ärztlich abklären lassen. Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

##### Fragen für Ihren Arzt

- Welcher Tumortyp und welche Rezeptoren liegen vor?
- Welches Stadium und welche Therapie empfehlen Sie — und warum?
- Welche Alternativen oder Kombinationen gibt es?
- Welche Nebenwirkungen sind wahrscheinlich, und was kann man tun?
- Wie dringend ist der Therapiebeginn?
- Ist eine Zweitmeinung oder ein Tumorboard vorgesehen?
- Welche Nachsorge ist geplant?
- Welche Studien oder molekularen Optionen kommen infrage?
- Was bedeutet die Diagnose für Alltag, Arbeit und Familie in den nächsten Wochen?
- Wen kann ich bei Erschöpfung, Ängsten oder Nebenwirkungen ansprechen?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

##### Vertiefung

Biologie und Mikromilieu: weiter unten in diesem Abschnitt sowie Teil III. Allgemeine Operation, Chemo, Strahl und Immuntherapie: Kapitel 2.

##### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Brustkrebs=Krebsart(Brustgewebe)

Hormonrezeptor=Struktur(Signalerkennung)

TripleNegativerTumor=Tumor(TripleNegativitaet)

##### 1. Was ist das?

Kaum eine Krebsdiagnose greift so tief in das persönliche Leben ein wie Brustkrebs. Vielleicht auch deshalb, weil hier nicht nur irgendein Organ betroffen ist, sondern gleichzeitig häufig: Körpergefühl, Weiblichkeit, Partnerschaft, Sexualität, Sicherheit und das gesamte innere Selbstbild.

Viele Frauen berichten später, dass sich die Diagnose anfühlte, als hätte plötzlich jemand mitten im normalen Alltag den Boden unter dem biologischen Gebäude weggezogen.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Dabei gehört Brustkrebs heute weltweit zu den häufigsten Tumorerkrankungen (Siegel u. a., 2024). Gleichzeitig haben sich Diagnostik und Therapie in den letzten Jahrzehnten massiv verbessert. Viele Tumoren werden früh erkannt und können erfolgreich behandelt werden. Dennoch bleibt Brustkrebs biologisch außerordentlich komplex.

**Brustkrebs ist keine einheitliche Erkrankung** Denn „der Brustkrebs“ existiert eigentlich gar nicht.

Unter diesem Begriff verbergen sich unterschiedliche Tumortypen mit teils völlig verschiedenen biologischen Eigenschaften. Manche wachsen langsam. Andere aggressiv. Einige reagieren stark auf Hormone, andere kaum. Manche Tumoren bilden früh Metastasen, andere bleiben lange lokal begrenzt.

Der Tumor verhält sich dadurch weniger wie ein standardisierter Defekt und eher wie eine individuelle metabolische Landschaft mit eigener Infrastruktur und eigenen Überlebensstrategien.

Wie in Abbildung 6.2, Seite 128 sichtbar wird, verändern Tumoren fortlaufend ihre innere Stoffwechselorganisation. Genau diese Anpassungsfähigkeit erschwert viele Therapien erheblich.

Besonders wichtig sind bei Brustkrebs hormonabhängige Signalwege. Viele Tumoren reagieren empfindlich auf Östrogene oder Progesteron (Perou u. a., 2000). Der Tumor klinkt sich heimlich in die vorhandenen Steuerleitungen des Körpers ein und beginnt, die Signale für seinen eigenen Ausbau zu missbrauchen.

Besonders aggressiv gelten sogenannte triple-negative Tumoren. Ihnen fehlen bestimmte Rezeptoren, die sonst therapeutisch gezielt angreifbar wären (Bianchini u. a., 2016).

#### 2. Woran merke ich das?

Und tatsächlich beginnt Brustkrebs oft beinahe lautlos. Ein kleiner Knoten. Eine Veränderung im Gewebe. Etwas Unscheinbares im Mammographie-Bild. Nichts, das sich zunächst nach jener gewaltigen metabolischen Umwälzung anfühlt, die später daraus entstehen kann.

Deshalb zählen Tastbefunde, sichtbare Haut- oder Formveränderungen und Auffälligkeiten in der Bildgebung zu den häufigsten ersten Hinweisen — auch wenn sie unspektakulär wirken. Unklare Veränderungen gehören in die ärztliche Abklärung, nicht in die Selbstinterpretation.

#### 3. Wie wird die Diagnose gestellt?

Bildgebung, molekulare Diagnostik und personalisierte Therapien verändern die Behandlung kontinuierlich. Früher bedeutete die Diagnose oft radikale Operationen mit

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

großflächiger Entfernung von Gewebe. Heute versucht die Medizin zunehmend: präziser, individueller und gewebeschonender zu arbeiten.

Zur Sicherung gehören typischerweise Bildgebung und Gewebeuntersuchung (Histologie) sowie die Bestimmung von Rezeptor- und molekularen Merkmalen — entscheidet doch gerade diese Typisierung über viele Therapiewege.

#### 4. Welche Behandlungsmöglichkeiten gibt es?

Genau deshalb spielen antihormonelle Therapien bei vielen Patientinnen wirklich eine zentrale Rolle. Medikamente versuchen dabei, hormonelle Signalwege zu blockieren oder bestimmte Wachstumsreize abzuschwächen.

Gerade bei triple-negativen Tumoren interessieren sich Forscher zunehmend für: Immuntherapien, metabolische Besonderheiten und neue zielgerichtete Therapieansätze.

Operation, Chemotherapie, Bestrahlung, Immuntherapie und Kombinationen werden im Tumorboard geplant. Die allgemeinen Säulen und ihre Logik sind in Kapitel 2 zusammengefasst — hier nur der artbezogene Überblick, keine Wiederholung der gesamten Therapietiefe.

#### 5. Was passiert jetzt?

##### Was passiert jetzt? (typischer Pfad)

Hausarzt → Facharzt → Diagnostik → Tumorboard → Therapie →  
Nachsorge

Der konkrete Ablauf hängt von Befund, Stadium und Begleiterkrankungen ab.  
Details zu Therapien: Teil I, Kapitel *Behandlungsmöglichkeiten verstehen*.

Orientierung — kein individueller Behandlungsplan.

#### 6. Was können Sie selbst tun?

Gleichzeitig interessieren sich viele Patientinnen zusätzlich für: Ernährung, Bewegung, Stressregulation, Naturstoffe oder metabolische Unterstützungsmöglichkeiten während der Therapie. Das ist verständlich.

Denn Krebs fühlt sich selten an wie ein einzelner Defekt. Eher wie eine Erschütterung des gesamten inneren Systems. Solche Schritte ersetzen keine onkologische Therapie; sie können Orientierung und Alltagsstabilität unterstützen — im Gespräch mit dem Behandlungsteam.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

### 7. Welche Nebenwirkungen können auftreten?

Für viele Frauen bedeutet antihormonelle Therapie oft jahrelange Behandlung mit teilweise erheblichen Nebenwirkungen: Erschöpfung, Hitzewallungen, Gelenkbeschwerden oder Stimmungsschwankungen.

Der Tumor sitzt eben nicht isoliert irgendwo im Gewebe. Er greift tief in das hormonelle und metabolische Gleichgewicht des gesamten Organismus ein. Allgemeine Nebenwirkungs- und Therapielogik: Kapitel [2](#).

### 8. Wann sollten Sie sofort medizinische Hilfe suchen?

#### **Sofort handeln, wenn ...**

Plötzliche starke Atemnot, unstillbare Blutungen, Bewusstseinsstörungen oder neu aufgetretene neurologische Ausfälle — sofort Hilfe. Anhaltende oder zunehmende Brustveränderungen, neu tastbare Knoten oder entzündliche Hautveränderungen zeitnah ärztlich abklären lassen — nicht abwarten.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

### 9. Fragen für Ihren Arzt

#### **Fragen für Ihren Arzt**

- Welcher Tumortyp und welche Rezeptoren liegen vor?
- Welches Stadium und welche Therapie empfehlen Sie — und warum?
- Welche Alternativen oder Kombinationen gibt es?
- Welche Nebenwirkungen sind wahrscheinlich, und was kann man tun?
- Wie dringend ist der Therapiebeginn?
- Ist eine Zweitmeinung oder ein Tumorboard vorgesehen?
- Welche Nachsorge ist geplant?
- Welche Studien oder molekularen Optionen kommen infrage?
- Was bedeutet die Diagnose für Alltag, Arbeit und Familie in den nächsten Wochen?
- Wen kann ich bei Erschöpfung, Ängsten oder Nebenwirkungen ansprechen?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

##### Hintergrund: Mikromilieu und Metastasen

Auch das Tumormikromilieu spielt bei Brustkrebs eine entscheidende Rolle. Entzündungsprozesse, Gefäßbildung, Immunreaktionen und Stoffwechselräume beeinflussen Wachstum und Ausbreitung erheblich.

Manche Tumoren entwickeln regelrechte Sauerstoffmangelzonen, innerhalb derer sich aggressive Zellpopulationen besonders gut anpassen.

Die innere Landschaft eines Tumors erinnert dabei manchmal an eine überlastete Industrieregion kurz vor dem Zusammenbruch: chaotische Leitungen, provisorische Versorgung, überhitzte Stoffwechselräume und überall hektische Reparaturversuche des Organismus.

Wie in Abbildung 8.3, Seite 196 dargestellt, entstehen Tumoren niemals isoliert. Sie stehen permanent in Wechselwirkung mit Gefäßen, Immunzellen, Entzündungsprozessen und metabolischen Anpassungsmechanismen ihrer Umgebung.

Besonders belastend bleibt für viele Patientinnen die Angst vor Metastasen. Brustkrebs kann sich über Blut- und Lymphsystem im Körper ausbreiten und Tochtertumoren in: Knochen, Leber, Lunge oder Gehirn bilden.

Genau dort wird aus einer lokalen Erkrankung plötzlich ein systemisches Problem des gesamten Organismus.

Die moderne Forschung beginnt zunehmend zu verstehen, dass Brustkrebs nicht allein aus genetischen Mutationen besteht. Der Tumor entsteht innerhalb eines komplexen Zusammenspiels aus: Hormonen, Entzündungen, Immunreaktionen, Stoffwechsel und mikroökologischen Veränderungen des Gewebes.

Oder einfacher gesagt: Mitten im biologischen Maschinenraum geraten plötzlich zentrale Steuer- und Versorgungssysteme aus dem Gleichgewicht – und der Tumor beginnt genau aus diesem Chaos seine eigene metabolische Ordnung aufzubauen.

*Leitmotiv — Krebs als Störung biologischer Regulationsräume:* Brustkrebs verlangt Typisierung und Teamarbeit — Orientierung zuerst, biologische Vertiefung danach.

## 4.2. Darmkrebs

*Dieses Kapitel folgt dem einheitlichen Patientenschema (siehe Beginn von Die häufigsten Krebsarten verstehen).*

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

##### Ihr Nutzen

Nach diesem Kapitel wissen Sie ...

- warum Darmkrebs oft langsam entsteht,
- welche Rolle Vorsorge und Polypen spielen,
- welche Behandlungssäulen und Alltagsfragen typisch sind.

##### Was Sie sich merken sollten

- Darmkrebs entsteht häufig über Jahre — Vorsorge kann Polypen früh entfernen.
- Der Darm ist Verdauungs-, Immun- und Mikrobiom-Organ zugleich.
- Lebermetastasen sind ein häufiger Ausbreitungsweg.
- Therapiedetails: Kapitel [2](#).

##### Sofort handeln, wenn ...

Starke, anhaltende Blutungen, schwarzer Stuhl mit Kreislaufproblemen, plötzliche starke Bauchschmerzen oder Bewusstseinsstörungen — sofort medizinische Hilfe. Blut im Stuhl, anhaltende Stuhlunregelmäßigkeiten oder unklarer Gewichtsverlust zeitnah abklären.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

##### Fragen für Ihren Arzt

- Welches Stadium und welcher Tumortyp liegen vor?
- Ist eine Operation geplant — und mit welchem Ziel?
- Brauche ich Chemotherapie, zielgerichtete Therapie oder Immuntherapie?
- Welche Nebenwirkungen sind wahrscheinlich?
- Wie dringend ist der Therapiebeginn?
- Welche Rolle spielen molekulare Marker in meinem Fall?
- Welche Nachsorge und Kontrollintervalle sind vorgesehen?
- Was darf ich bei Ernährung und Bewegung realistisch umsetzen?
- Gibt es Studien, die für mich infrage kommen?
- Wen kann ich bei Nebenwirkungen oder Unsicherheit erreichen?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

##### Vertiefung

Mikrobiom und metabolische Zusammenhänge: unten sowie Teil III. Allgemeine Therapiewege: Kapitel [2](#).

##### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Darmkrebs=Krebsart (Darmgewebe)

Polyp=Gewebe (Wucherung)

##### 1. Was ist das?

Der Darm gehört zu den merkwürdigsten Landschaften des menschlichen Körpers. Einerseits hochpräzise organisiert, voller fein abgestimmter Stoffwechselprozesse und mikrobiologischer Zusammenarbeit. Andererseits wirkt das ganze System manchmal wie ein gigantischer biologischer Umschlagbahnhof, in dem Tag und Nacht transportiert, zerlegt, gefiltert und weitergeleitet wird.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Mitten durch diese kilometerlange innere Versorgungsstrecke laufen: Nährstoffe, Bakterien, Immunreaktionen, Entzündungsprozesse und unzählige chemische Signale durcheinander. Und genau deshalb spielt der Darm in der Krebsforschung eine besondere Rolle.

**Der Darm als metabolischer Verkehrsknoten** Darmkrebs entsteht häufig langsam. Oft über viele Jahre hinweg. Kleine Polypen verändern sich schrittweise, Zellverbände geraten aus der Kontrolle, Reparaturmechanismen ermüden und irgendwann beginnt sich mitten im inneren Leitungssystem des Darms eine entgleiste Gewebestruktur aufzubauen (E. R. Fearon & Vogelstein, 1990).

Wie in Abbildung 6.3, Seite 134 sichtbar wird, bildet der Darm nicht bloß ein Verdauungsorgan, sondern eine hochkomplexe metabolische und mikrobiologische Landschaft.

**Der Darm als biologische Megastadt** Denn der Darm ist weit mehr als ein Verdauungsrohr. Er funktioniert gleichzeitig als: Immunorgan, Mikrobiomlandschaft, Stoffwechselzentrum und Kommunikationssystem. Milliarden Bakterien leben dort in einer Art biologischer Megastadt, die permanent mit dem Organismus interagiert (Garrett, 2015).

#### 2. Woran merke ich das?

Das Heimtückische daran: Lange Zeit passiert scheinbar gar nichts. Keine Schmerzen. Keine dramatischen Symptome.

Der Körper arbeitet weiter, als wäre alles normal. Wie ein altes Industriekraftwerk, in dessen Rohrsystem sich tief im Inneren längst Rost und Haarrisse ausbreiten, während außen noch alle Kontrolllampen grün leuchten.

Gerade deshalb gehören Vorsorgeuntersuchungen bei Darmkrebs heute zu den wichtigsten Früherkennungsmaßnahmen der Krebsmedizin. Polypen können häufig entdeckt und entfernt werden, bevor überhaupt ein invasiver Tumor entsteht.

#### 3. Wie wird die Diagnose gestellt?

Vorsorge und Abklärung nutzen typischerweise Darmspiegelung mit Möglichkeit zur Polypenentfernung sowie Gewebeuntersuchung. Die moderne Medizin versucht zunehmend, die individuelle Biologie des jeweiligen Tumors zu verstehen — molekulare Diagnostik gehört heute oft dazu.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

#### 4. Welche Behandlungsmöglichkeiten gibt es?

Die Behandlung von Darmkrebs besteht heute meist aus einer Kombination verschiedener Verfahren: Operation, Chemotherapie, zielgerichtete Medikamente, teilweise Immuntherapie und zunehmend molekulare Diagnostik.

Denn manche Tumoren reagieren erstaunlich gut auf bestimmte Therapien, andere bauen sofort neue metabolische Umleitungen. Krebs bleibt eben ein Meister biologischer Improvisation.

Die allgemeinen Säulen sind in Kapitel 2 erklärt — hier nur der artbezogene Kurzüberblick.

#### 5. Was passiert jetzt?

##### Was passiert jetzt? (typischer Pfad)

Hausarzt → Facharzt → Diagnostik → Tumorboard → Therapie →  
Nachsorge

Der konkrete Ablauf hängt von Befund, Stadium und Begleiterkrankungen ab.  
Details zu Therapien: Teil I, Kapitel *Behandlungsmöglichkeiten verstehen*.

Orientierung — kein individueller Behandlungsplan.

#### 6. Was können Sie selbst tun?

Besonders stark diskutiert werden im Zusammenhang mit Darmkrebs-Risiko und Stoffwechselklima: stark verarbeitete Lebensmittel, Übergewicht, chronisch erhöhte Insulinspiegel, Bewegungsmangel, Alkohol und entzündungsfördernde Stoffwechselbedingungen (World Cancer Research Fund & American Institute for Cancer Research, 2018).

Natürlich bedeutet das nicht, dass einzelne Lebensmittel automatisch Krebs erzeugen. Der menschliche Organismus besitzt enorme Stabilitäts- und Reparaturfähigkeiten. Dennoch scheint das langfristige metabolische Gesamtklima eine deutlich größere Rolle zu spielen, als man früher vermutete.

Auch Ernährung spielt gerade bei Darmkrebs für viele Patienten eine große Rolle. Nicht als magische Wunderwaffe, sondern weil der Darm direkt mit: Verdauung, Mikrobiom, Entzündungen und Stoffwechselregulation verbunden ist. Änderungen immer mit dem Behandlungsteam abstimmen.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

### 7. Welche Nebenwirkungen können auftreten?

Nebenwirkungen hängen stark von Operation, Chemotherapie, zielgerichteten Medikamenten oder Immuntherapie ab. Typische Belastungen und Unterstützungswege sind allgemein in Kapitel 2 beschrieben — artbezogen im Gespräch mit dem Team klären.

### 8. Wann sollten Sie sofort medizinische Hilfe suchen?

#### **Sofort handeln, wenn ...**

Starke anhaltende Blutungen, schwarzer Stuhl mit Kreislaufproblemen, plötzliche heftige Bauchschmerzen oder Bewusstseinsstörungen — sofort Hilfe. Blut im Stuhl, anhaltende Stuhlunregelmäßigkeiten oder unklarer Gewichtsverlust zeitnah ärztlich abklären.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

### 9. Fragen für Ihren Arzt

#### **Fragen für Ihren Arzt**

- Welches Stadium und welcher Tumortyp liegen vor?
- Ist eine Operation geplant — und mit welchem Ziel?
- Brauche ich Chemotherapie, zielgerichtete Therapie oder Immuntherapie?
- Welche Nebenwirkungen sind wahrscheinlich?
- Wie dringend ist der Therapiebeginn?
- Welche Rolle spielen molekulare Marker in meinem Fall?
- Welche Nachsorge und Kontrollintervalle sind vorgesehen?
- Was darf ich bei Ernährung und Bewegung realistisch umsetzen?
- Gibt es Studien, die für mich infrage kommen?
- Wen kann ich bei Nebenwirkungen oder Unsicherheit erreichen?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

##### Hintergrund: Mikrobiom, Metastasen, Schnittstelle Außenwelt

Interessanterweise reagieren Darmtumoren oft empfindlich auf Veränderungen ihrer mikroökologischen Umgebung. Sauerstoffmangel, entzündliche Prozesse und bakterielle Stoffwechselprodukte beeinflussen das Tumormilieu erheblich.

Der Krebs wächst also nicht isoliert, sondern mitten in einer hochaktiven biologischen Verkehrs- und Versorgungslandschaft.

Wie in Abbildung 6.5, Seite 136 dargestellt, kommunizieren Mikroorganismen, Immunzellen und Stoffwechselprozesse permanent miteinander. Krebs entsteht dadurch innerhalb eines dynamischen biologischen Gesamtnetzwerks.

Besonders belastend wird Darmkrebs, wenn Metastasen entstehen. Häufig betroffen ist dabei die Leber. Das ist kein Zufall. Blut aus dem Darm fließt direkt durch die Leber, die gewissermaßen als große biologische Filter- und Verarbeitungsstation arbeitet.

Tumorzellen nutzen genau diese Transportwege für ihre Ausbreitung. Vielleicht liegt genau darin die eigentliche Besonderheit des Darms: Hier trifft Außenwelt unmittelbar auf innere Biologie.

Alles, was der Mensch über Jahre in sich hineinlädt – Nahrung, Stress, Medikamente, Umweltstoffe oder Entzündungsreize – zieht irgendwann durch genau diese empfindliche metabolische Landschaft.

*Leitmotiv — Krebs als Störung biologischer Regulationsräume:* Darmkrebs verbindet Vorsorge, Mikrobiom und systemische Therapie — früh erkennen, klar nachfragen.

### 4.3. Lungenkrebs

*Dieses Kapitel folgt dem einheitlichen Patientenschema (siehe Beginn von Die häufigsten Krebsarten verstehen).*

#### Ihr Nutzen

Nach diesem Kapitel wissen Sie ...

- warum Lungenkrebs oft spät auffällt,
- welche Rolle Rauchen und andere Belastungen spielen,
- welche modernen Therapiewege es gibt.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

##### Was Sie sich merken sollten

- Frühe Stadien verursachen häufig kaum Beschwerden.
- Rauchen ist ein zentraler, aber nicht der einzige Faktor.
- Molekulare Diagnostik und Immuntherapie haben die Behandlung verändert.
- Therapiedetails: Kapitel 2.

##### Sofort handeln, wenn ...

Plötzliche schwere Atemnot, Bluthusten mit Kreislaufproblemen, Bewusstseinsstörungen oder neu aufgetretene neurologische Ausfälle — sofort Hilfe (Notruf 112). Anhaltender Husten, Blut im Auswurf oder zunehmende Atemnot zeitnah abklären.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

##### Fragen für Ihren Arzt

- Welcher Lungentumortyp und welches Stadium liegen vor?
- Welche molekularen Marker wurden bestimmt?
- Welche Therapie empfehlen Sie — Operation, Systemtherapie, Bestrahlung, Immun- oder zielgerichtete Therapie?
- Welche Alternativen gibt es?
- Welche Nebenwirkungen sind wahrscheinlich?
- Wie dringend ist der Therapiebeginn?
- Ist Rauchstopp-Unterstützung vorgesehen?
- Welche Nachsorge ist geplant?
- Gibt es Studien für meinen Tumortyp?
- Wen erreiche ich bei Atemnot oder Fieber unter Therapie?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

##### Vertiefung

Oxidativer Stress und Hypoxie: unten sowie Teil III. Allgemeine Therapiewege: Kapitel 2.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

##### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Lungenkrebs=Krebsart (Lungengewebe)

Immunreaktion=Reaktion (Abwehrsystem)

##### 1. Was ist das?

Die Lunge arbeitet still. Tag und Nacht. Ohne Pause. Ohne Wochenende. Ein riesiges biologisches Belüftungssystem, das bei jedem Atemzug Sauerstoff in den Körper bringt und gleichzeitig Schadstoffe, Staub, Rauch und Umweltpartikel abfangen muss.

Normalerweise funktioniert dieses System erstaunlich robust. Die Bronchien reinigen sich selbst, Schleimhäute transportieren Fremdstoffe ab und Immunzellen patrouillieren permanent durch die empfindlichen Gewebestrukturen.

Doch über Jahre hinweg kann dieser dauerhafte Belastungsbetrieb den gesamten inneren Maschinenraum der Lunge verändern.

**Korrosion im biologischen Belüftungssystem** Lungenkrebs entsteht deshalb häufig nicht plötzlich, sondern langsam. Wie Korrosion in einem alten Rohrleitungssystem, das jahrzehntelang Hitze, Rauch und chemischem Stress ausgesetzt war.

Besonders stark verbunden bleibt die Erkrankung mit dem Rauchen (Doll u. a., 2004). Tabakrauch enthält tausende chemische Substanzen, darunter zahlreiche Stoffe, die DNA-Schäden verursachen können.

Die Zellen der Atemwege stehen dadurch dauerhaft unter oxidativem Stress. Reparatursysteme arbeiten im Dauereinsatz, Entzündungen flammen immer wieder auf und irgendwann beginnen einzelne Zellverbände, sich biologisch zu entkoppeln.

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 sichtbar wird, entstehen unter dauerhafter Schadstoffbelastung hochreaktive Stressräume, die langfristig biologische Stabilität gefährden können.

Interessanterweise betrifft Lungenkrebs längst nicht nur Raucher. Auch: Feinstaub, Asbest, Radon, berufliche Schadstoffbelastungen, chronische Entzündungen oder genetische Faktoren spielen eine Rolle (Herbst u. a., 2018).

##### 2. Woran merke ich das?

Besonders problematisch ist, dass frühe Stadien häufig kaum Beschwerden verursachen. Ein wenig Husten. Müdigkeit. Leichte Atemprobleme. Nichts, das sofort nach jener massiven metabolischen und biologischen Entgleisung aussieht, die sich im Hintergrund bereits entwickelt. Und genau dadurch wird Lungenkrebs oft spät entdeckt.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

### 3. Wie wird die Diagnose gestellt?

Heute spielen molekulare Diagnostik und die Beurteilung der biologischen Betriebsweise des Tumors eine immer größere Rolle (Herbst u. a., 2018). Der Krebs wird dadurch zunehmend nicht mehr nur nach seinem Sitz im Körper beurteilt, sondern nach Signalwegen, Stoffwechsel und Immunkommunikation — ergänzend zu Bildgebung und Gewebesicherung.

### 4. Welche Behandlungsmöglichkeiten gibt es?

Früher bestand die Behandlung hauptsächlich aus: Operation, Chemotherapie und Bestrahlung. Heute spielen zusätzlich: zielgerichtete Therapien, molekulare Diagnostik und Immuntherapien eine immer größere Rolle (Herbst u. a., 2018). Bestimmte Tumoren besitzen charakteristische Mutationen oder Signalwege, die gezielt therapeutisch angegriffen werden können. Die allgemeinen Säulen sind in Kapitel 2 zusammengefasst.

### 5. Was passiert jetzt?

#### Was passiert jetzt? (typischer Pfad)

Hausarzt → Facharzt → Diagnostik → Tumorboard → Therapie →  
Nachsorge

Der konkrete Ablauf hängt von Befund, Stadium und Begleiterkrankungen ab.  
Details zu Therapien: Teil I, Kapitel *Behandlungsmöglichkeiten verstehen*.

Orientierung — kein individueller Behandlungsplan.

### 6. Was können Sie selbst tun?

Rauchstopp ist — wo zutreffend — eine der wirkungsvollsten begleitenden Maßnahmen und gehört ins Gespräch mit dem Behandlungsteam. Bewegung, Schlaf und Stressregulation können die Alltagsstabilität unterstützen, ersetzen aber keine onkologische Therapie. Praktische Alltagswege: Teil I, Kapitel *Alltag, Ernährung, Bewegung und Psyche*.

### 7. Welche Nebenwirkungen können auftreten?

Nebenwirkungen hängen von Operation, Systemtherapie, Bestrahlung, Immun- oder zielgerichteter Therapie ab. Allgemeine Orientierung: Kapitel 2. Artbezogene Risiken im persönlichen Aufklärungsgespräch klären.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

### 8. Wann sollten Sie sofort medizinische Hilfe suchen?

#### **Sofort handeln, wenn ...**

Plötzliche schwere Atemnot, Bluthusten mit Kreislaufproblemen, Bewusstseinsstörungen oder neu aufgetretene neurologische Ausfälle — sofort Hilfe. Anhaltender Husten, Blut im Auswurf oder zunehmende Atemnot zeitnah ärztlich abklären.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

### 9. Fragen für Ihren Arzt

#### **Fragen für Ihren Arzt**

- Welcher Lungentumortyp und welches Stadium liegen vor?
- Welche molekularen Marker wurden bestimmt?
- Welche Therapie empfehlen Sie — und warum?
- Welche Alternativen gibt es?
- Welche Nebenwirkungen sind wahrscheinlich?
- Wie dringend ist der Therapiebeginn?
- Ist Rauchstopp-Unterstützung vorgesehen?
- Welche Nachsorge ist geplant?
- Gibt es Studien für meinen Tumortyp?
- Wen erreiche ich bei Atemnot oder Fieber unter Therapie?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

### Hintergrund: Hypoxie, Metastasen, Notbetrieb

Dabei gehört die Lunge zu den zentralen Energieorganen des Körpers. Sauerstoffversorgung beeinflusst praktisch jeden Stoffwechselprozess. Gerät dieses System aus dem Gleichgewicht, verändert sich der gesamte innere Betriebszustand des Organismus.

Tumoren der Lunge wachsen häufig innerhalb von: Sauerstoffgradienten, chronischen Entzündungen, narbigen Gewebeveränderungen und oxidativem Dauerstress.

Wie in Abbildung 7.5, Seite 164 dargestellt, entstehen innerhalb vieler Tumoren komplexe Sauerstoffgradienten, die aggressive Zellpopulationen begünstigen können.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Besonders schwierig wird die Situation durch die frühe Metastasierungsneigung vieler Lungentumoren. Krebszellen können relativ schnell: Lymphbahnen, Blutgefäße oder benachbarte Gewebe nutzen, um sich auszubreiten.

Häufig betroffen sind später: Gehirn, Leber, Knochen oder Nebennieren.

Die moderne Forschung beginnt zunehmend zu verstehen, dass Lungenkrebs tief mit: oxidativem Stress, Entzündungen, Sauerstoffregulation und metabolischer Anpassung verbunden ist.

Vielleicht erklärt genau das auch die enorme Erschöpfung vieler Patienten.

Wenn die Lunge leidet, gerät nicht nur irgendein Organ unter Druck. Dann beginnt der gesamte Organismus, im inneren Notbetrieb zu arbeiten.

*Leitmotiv — Krebs als Störung biologischer Regulationsräume:* Lungenkrebs verlangt frühe Abklärung und moderne Typisierung — Atemnot ernst nehmen, Fragen stellen.

#### 4.4. Prostatakrebs

*Dieses Kapitel folgt dem einheitlichen Patientenschema (siehe Beginn von Die häufigsten Krebsarten verstehen).*

##### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Prostatakrebs=Krebsart(Prostata)

Androgen=Hormon(Signalsteuerung)

Hormontherapie=Therapie(Signalkontrolle)

PSA=Marker(Prostata)

##### Was ist das?

Über kaum eine Krebsart wird so merkwürdig geschwiegen wie über Prostatakrebs. Die Erkrankung rührt an Themen, über die viele Männer lange nicht sprechen: Alter, Männlichkeit, Sexualität, Kontrollverlust und die Angst, biologisch plötzlich nicht mehr “zu funktionieren”.

Prostatakrebs wächst häufig langsam – manchmal so langsam, dass Männer jahrelang nichts bemerken. Der Tumor entwickelt sich eher still im inneren Leitungssystem des Körpers.

Die Prostata ist ein unscheinbares Organ, eng mit hormoneller Steuerung, Fortpflanzung und Stoffwechsel verbunden. Prostatakrebs ist besonders eng mit hormonellen Signalwegen verknüpft, vor allem mit Testosteron und verwandten Androgenen (Huggins &

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Hodges, 1941). Der Tumor nutzt diese Wachstumsreize wie zusätzliche Energiezufuhr für seinen Ausbau.

Wie in Abbildung 8.1, Seite 191 sichtbar wird, greifen hormonelle Regulation, Stoffwechsel und Zellkommunikation tief ineinander.

##### **Erste Warnzeichen**

Oft fehlen dramatische Warnzeichen und Schmerzen. Viele Männer bemerken lange gar nichts. Gerade deshalb ist Unsicherheit bei Veränderungen im Harnlassen, Schmerz oder unklarer Erschöpfung ein Anlass, ärztlich nachzufragen – ohne dass dieses Kapitel eine Diagnose stellt.

##### **Wie wird die Diagnose gestellt?**

Im Text sind PSA-Werte, klinische Untersuchung und weiterführende Diagnostik genannt; die moderne Bewertung bezieht zusätzlich Stoffwechsel- und Signalwege des Tumors ein. Konkrete Diagnoseschritte legt die behandelnde Ärztin bzw. der behandelnde Arzt fest.

##### **Stadieneinteilung**

Viele Prostatatumoren wachsen langsam und können über lange Zeit kontrolliert werden. Manche müssen anfangs nicht sofort behandelt werden, sondern werden zunächst aktiv überwacht. Krebs ist nicht gleich Krebs: Manche Tumoren verhalten sich aggressiv, andere eher still und schleichend.

##### **Behandlungsmöglichkeiten**

Die Hormontherapie spielt bei vielen Patienten eine zentrale Rolle. Ziel ist es, dem Tumor einen Teil seiner hormonellen Wachstumsgrundlage zu entziehen (Huggins & Hodges, 1941).

Anfangs reagieren viele Prostatakarzinome gut auf antihormonelle Therapien. Mit der Zeit lernen manche Krebszellen jedoch, trotz sinkender Hormonspiegel weiterzuwachsen (Watson, 2015).

Aus metabolischer Sicht besitzt die Prostata einen ungewöhnlichen Stoffwechsel. Wenn Tumorgewebe entsteht, verändert sich häufig die innere Energieorganisation (Dakubo u. a., 2006): veränderte Mitochondrien, gestörter Zuckerstoffwechsel, oxidativer Stress, Entzündungen und chaotische Signallräume.

Wie in Abbildung 7.2, Seite 153 dargestellt, verändern sich innerhalb von Tumoren häufig zentrale Energie- und Regulationsprozesse der Zellen.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Personalisierte Medizin wird auch beim Prostatakarzinom wichtiger: Neben Tumorgöße, PSA-Werten oder Metastasen geht es um Energieorganisation, Signalwege, Stoffwechsel und Mikromilieu.

#### **Nebenwirkungen**

Für manche Männer fühlt sich die Hormontherapie an, als würde die hormonelle Hauptsteuerung heruntergefahren. Der Körper kann empfindlich reagieren: Müdigkeit, Muskelabbau, Hitzewallungen, Gewichtszunahme oder Verlust sexueller Funktion können auftreten. Das verändert nicht nur ein Organ, sondern greift in das hormonelle Gleichgewicht des gesamten Organismus ein.

#### **Was können Sie selbst tun?**

- Notieren Sie Beschwerden, Fragen und Unsicherheiten vor dem Arztgespräch.
- Fragen Sie nach dem Ziel der vorgeschlagenen Therapie und nach Alternativen (einschließlich aktiver Überwachung, falls infrage kommend).
- Klären Sie, welche Nebenwirkungen typisch sind und wann Sie sich melden sollen.
- Beziehen Sie nahestehende Personen ein, wenn Sie das möchten.

#### **Nachsorge**

Viele Patienten erleben die Erkrankung wie eine schleichende Verschiebung ihres inneren Zustands – nicht unbedingt dramatisch von einem Tag auf den anderen. Regelmäßige Absprachen zur Kontrolle und Nachsorge gehören zur gemeinsamen Planung mit dem Behandlungsteam.

#### **Wann sofort Hilfe nötig ist**

Besonders belastend bleibt die Angst vor Metastasen. Prostatakrebs breitet sich häufig in die Knochen aus (Bubendorf u. a., 2000). Dort entstehen oft starke Schmerzen und komplexe Stoffwechselprobleme.

Bei neu auftretenden starken Knochenschmerzen, plötzlicher Verschlechterung oder anderen alarmierenden Symptomen ist umgehende ärztliche Abklärung nötig. Dieses Kapitel ersetzt keine Notfall- oder Individualberatung.

**Kurz gesagt** Irgendwo tief im inneren Maschinenraum beginnt plötzlich ein stiller Schattenbetrieb zu laufen – zunächst kaum hörbar, später mit wachsendem Einfluss

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

auf das gesamte biologische Kraftwerk. Gleichzeitig gehört Prostatakrebs zu den Tumorarten, bei denen Früherkennung und Therapie erhebliche Fortschritte gemacht haben.

### 4.5. Leberkrebs

*Dieses Kapitel folgt dem einheitlichen Patientenschema (siehe Beginn von Die häufigsten Krebsarten verstehen).*

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Leberkrebs=Krebsart(Lebergewebe)

Leberzirrhose=Zustand(Vernarbung)

Fettleber=Zustand(Fetteinlagerung)

Stoffwechselsyndrom=Syndrom(Stoffwechsel)

#### Was ist das?

Die Leber ist ein Hochleistungsorgan: Entgiftung, Umbau, Speicherung, Recycling, Energieverwaltung und chemische Krisenkontrolle laufen oft gleichzeitig. Leberkrebs entsteht häufig nicht plötzlich, sondern auf dem Boden langjähriger Überlastung. Chronische Entzündungen, Alkoholmissbrauch, Hepatitis-Infektionen, Fettleber oder dauerhafter metabolischer Stress verändern das Gewebe oft über viele Jahre hinweg (Forner u. a., 2018).

Besonders problematisch wird die Situation bei Leberzirrhose: Gesundes Gewebe wird zunehmend durch narbige Strukturen ersetzt, Blutströme verändern sich und das metabolische Gleichgewicht beginnt zu kippen. In solchen instabilen biologischen Landschaften entsteht Krebs besonders leicht.

#### Erste Warnzeichen

Viele Patienten spüren lange kaum Beschwerden. Müdigkeit, Druckgefühl oder Gewichtsverlust können unspezifisch wirken und zunächst wie normale Erschöpfung erscheinen. Der Körper kompensiert oft erstaunlich lange, selbst wenn im Hintergrund bereits erhebliche metabolische Schäden entstehen. Unsicherheit bei solchen Symptomen ist ein Anlass, ärztlich nachzufragen – ohne dass dieses Kapitel eine Diagnose stellt.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

##### **Wie wird die Diagnose gestellt?**

Im Text sind chronische Lebererkrankungen, Stoffwechselbelastung und bildgebende bzw. weiterführende Diagnostik als Kontext genannt. Konkrete Diagnoseschritte legt die behandelnde Ärztin bzw. der behandelnde Arzt fest. Dieses Kapitel ersetzt keine Individualberatung.

##### **Stadieneinteilung**

Die Leber besitzt eine enorme Regenerationsfähigkeit. Permanente Reparatur und häufige Zellteilungen können langfristig jedoch das Risiko biologischer Fehlentwicklungen erhöhen. Der Tumor wächst mitten in einem Organ, das ohnehin unter Hochlast arbeitet und Nährstoffe, Medikamente, Alkohol, Hormone, Umweltgifte und Stoffwechselabfälle verarbeitet.

##### **Behandlungsmöglichkeiten**

Leberkrebs ist therapeutisch anspruchsvoll, weil die Leber von einem dichten Netz aus Blutgefäßen und Versorgungssystemen durchzogen ist. Gleichzeitig muss genug funktionierendes Restgewebe erhalten bleiben. Die moderne Medizin arbeitet mit unterschiedlichen Verfahren: Operationen, lokale Ablationen, Chemoembolisation, zielgerichtete Medikamente, Immuntherapien oder Lebertransplantationen. Jede Therapie bleibt ein Balanceakt um die zentrale chemische Leitstelle des Organismus.

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 dargestellt, entstehen unter chronischer Belastung komplexe entzündliche und metabolische Stressräume.

##### **Nebenwirkungen**

Gerät das zentrale Kontrollsystem aus dem Gleichgewicht, betrifft das schnell den gesamten Organismus. Therapien müssen deshalb Funktion und Belastung der Leber mitdenken; konkrete Nebenwirkungen und Risiken besprechen Sie mit dem Behandlungsteam.

##### **Was können Sie selbst tun?**

- Notieren Sie Beschwerden, Gewichtsverlauf und Fragen vor dem Arztgespräch.
- Fragen Sie nach Ziel, Alternativen und nach dem Erhalt der Leberfunktion.
- Klären Sie, welche Warnsignale Sie melden sollen.
- Beziehen Sie nahestehende Personen ein, wenn Sie das möchten.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Nichtalkoholische Fettlebererkrankungen nehmen weltweit zu (Younossi u. a., 2016). Übergewicht, chronisch erhöhte Insulinspiegel und metabolisches Syndrom belasten die Leber oft über Jahrzehnte – das unterstreicht die Bedeutung medizinischer Begleitung, ersetzt sie aber nicht.

#### Nachsorge

Forschung und Klinik interessieren sich zunehmend für Verbindungen zwischen Ernährung, Insulinregulation, Entzündungsprozessen, Mikrobiom und Leberstoffwechsel. Regelmäßige Absprachen zur Kontrolle und Nachsorge gehören zur gemeinsamen Planung mit dem Behandlungsteam.

#### Wann sofort Hilfe nötig ist

Bei rascher Verschlechterung, zunehmender Gelbsucht, starken Bauchschmerzen, Verwirrtheit oder anderen alarmierenden Symptomen ist umgehende ärztliche Abklärung nötig. Dieses Kapitel ersetzt keine Notfall- oder Individualberatung.

**Kurz gesagt** Die Leber speichert Belastungen oft über Jahre, bevor sichtbar wird, dass das biologische Versorgungssystem überfordert ist. Mitten in dieser überlasteten chemischen Großanlage kann der Tumor eine eigene metabolische Infrastruktur aufbauen – zwischen entzündeten Geweben, chaotischen Blutströmen und erschöpften Reparatursystemen.

### 4.6. Bauchspeicheldrüsenkrebs

*Dieses Kapitel folgt dem einheitlichen Patientenschema (siehe Beginn von Die häufigsten Krebsarten verstehen).*

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Pankreaskarzinom=Krebsart(Bauchspeicheldrüse)

Pankreatitis=Entzündung(Bauchspeicheldrüse)

Tumorstroma=Struktur(Tumorumgebung)

Kachexie=Zustand(Auszehrung)

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

##### **Was ist das?**

Bauchspeicheldrüsenkrebs gehört biologisch zu den aggressivsten Krebsarten (Neoptolemos u. a., 2017). Die Bauchspeicheldrüse ist klein und versteckt, aber zentral für den Stoffwechsel: Sie produziert Verdauungsenzyme und reguliert den Blutzucker über Hormone wie Insulin und Glukagon. Wenn dort Krebs entsteht, gerät schnell das metabolische Gleichgewicht durcheinander.

Wie in Abbildung 8.1, Seite 191 sichtbar wird, greifen Stoffwechselregulation, Hormonsteuerung und Energieorganisation tief ineinander.

##### **Erste Warnzeichen**

Lange Zeit passiert scheinbar wenig. Rückenschmerz, Müdigkeit, Verdauungsprobleme oder Gewichtsverlust können zunächst wie Stress, Alter oder eine harmlose Magenverstimmung wirken. Unsicherheit bei solchen Symptomen ist ein Anlass, ärztlich nachzufragen – ohne dass dieses Kapitel eine Diagnose stellt.

##### **Wie wird die Diagnose gestellt?**

Die Bauchspeicheldrüse liegt tief im Körper; frühe Tumoren verursachen selten eindeutige Beschwerden. Viele Erkrankungen werden erst entdeckt, wenn bereits Gefäße, Nerven, Lymphbahnen oder andere Organe betroffen sind. Konkrete Diagnoseschritte legt das Behandlungsteam fest.

##### **Stadieneinteilung**

Viele Pankreastumoren wachsen in dichtem, narbigem Gewebe, das wie eine Schutzmauer wirkt (Erkan u. a., 2012). Blutgefäße sind oft chaotisch organisiert, die Sauerstoffversorgung schlecht und Stoffwechselräume extrem belastet. Diese Umgebung erschwert Therapien und macht den Tumor anpassungsfähig.

##### **Behandlungsmöglichkeiten**

Die moderne Medizin untersucht molekulare Signalwege, Immuntherapien, zielgerichtete Medikamente, metabolische Besonderheiten und Kombinationstherapien. Gerade beim Pankreaskarzinom wächst das Interesse daran, Stoffwechsel und Tumormikromilieu therapeutisch zu beeinflussen. Welche Option infrage kommt, entscheidet die individuelle Situation mit dem Fachteam.

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 dargestellt, entstehen unter dauerhafter Belastung komplexe entzündliche und metabolische Stresslandschaften.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

##### Nebenwirkungen

Viele Patienten entwickeln früh massive Stoffwechselveränderungen: Gewichtsverlust, Muskelschwund und Appetitlosigkeit. Die Erkrankung greift tief in die Energieverwaltung ein. Manche wirken ausgezehrt, obwohl der Tumor vergleichsweise klein erscheint. Nebenwirkungen von Therapien besprechen Sie mit dem Behandlungsteam.

##### Was können Sie selbst tun?

- Notieren Sie Beschwerden, Gewicht und Verdauungsprobleme vor dem Arztgespräch.
- Fragen Sie nach Therapieziel, Alternativen und unterstützender Ernährung.
- Klären Sie, welche Symptome Sie sofort melden sollen.
- Beziehen Sie Angehörige ein, wenn Sie das möchten.

Rauchen, Diabetes, Übergewicht oder chronische Pankreatitis erhöhen das Risiko deutlich (McGuigan u. a., 2018); das unterstreicht Prävention und medizinische Begleitung, ersetzt aber keine Individualberatung.

##### Nachsorge

Forschung verändert sich rasant, doch wissenschaftliche Vorsicht bleibt wichtig: Viele Zusammenhänge werden intensiv untersucht, gelten aber nicht alle bereits als klinisch gesichert. Regelmäßige Absprachen zu Kontrolle und Unterstützung gehören zur gemeinsamen Planung.

##### Wann sofort Hilfe nötig ist

Bei starken neuartigen Bauch- oder Rückenschmerzen, raschem Gewichtsverlust, Gelbsucht, anhaltendem Erbrechen oder anderen alarmierenden Symptomen ist umgehende ärztliche Abklärung nötig. Dieses Kapitel ersetzt keine Notfall- oder Individualberatung.

**Kurz gesagt** Mitten im biologischen Hauptkraftwerk beginnt ein aggressiver Schattenbetrieb – verborgen hinter Stoffwechselströmen und Entzündungslandschaften, während der Organismus versucht, den normalen Betrieb aufrechtzuerhalten.

## 4.7. Hautkrebs und UV-Schäden

*Dieses Kapitel folgt dem einheitlichen Patientenschema (siehe Beginn von Die häufigsten Krebsarten verstehen).*

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

##### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Hautkrebs=Krebsart(Hautgewebe)

UVStrahlung=Strahlung(UV)

Melanom=Hautkrebs(Pigmentzellen)

Die Haut ist eigentlich ein Wunderwerk biologischer Grenzsicherung. Sie schützt vor Austrocknung, Keimen, Chemikalien, Hitze, Kälte und Sonnenstrahlung. Tag für Tag steht dieses riesige Organ unter Dauerbeschuss durch die Außenwelt – und trotzdem funktioniert der gesamte Betrieb erstaunlich lange ziemlich zuverlässig.

Bis irgendwann die ersten Schäden sichtbar werden.

Interessanterweise beginnt Hautkrebs oft nicht tief verborgen im Körper wie viele andere Tumoren. Er wächst direkt an jener Grenze, an der Umwelt und Organismus permanent aufeinandertreffen. Genau deshalb zeigt kaum eine Krebsart so offen, was chronischer biologischer Stress langfristig anrichten kann.

**Die Haut als biologischer Schutzwall** Besonders ultraviolette Strahlung greift tief in die DNA der Hautzellen ein (Narayanan u. a., 2010). Anfangs repariert der Körper solche Schäden meist erstaunlich effizient. Doch je häufiger die Belastung auftritt, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit, dass einzelne Reparaturprogramme versagen.

Man könnte sagen: Die Haut arbeitet jahrzehntelang wie ein überlasteter Außendienst im Dauerbetrieb. Irgendwann werden die ersten Leitungen porös, Warnsysteme ungenauer und Kontrollmechanismen langsamer.

**Warum Hautkrebs so unterschiedlich verläuft** Besonders auffällig ist dabei, wie unterschiedlich Hautkrebs auftreten kann. Manche Tumoren wachsen langsam und lokal begrenzt, andere entwickeln sich hochaggressiv und metastasieren früh. Gerade das maligne Melanom gehört zu den gefährlichsten Hautkrebsformen überhaupt (Miller & Jr., 2006).

Das Heimtückische daran: Anfangs sieht vieles harmlos aus. Ein Muttermal vielleicht. Eine kleine Verfärbung. Etwas, das aussieht wie normale Hautalterung.

Währenddessen beginnt sich im Hintergrund bereits eine hochdynamische metabolische Landschaft zu entwickeln. Krebszellen verändern ihre Signalwege, umgehen Reparaturprogramme und bauen langsam ihre eigene biologische Infrastruktur auf.

Interessanterweise spielt auch hier oxidativer Stress eine zentrale Rolle. UV-Strahlung erzeugt freie Radikale und entzündliche Prozesse. Die Haut gerät gewissermaßen in einen dauerhaften mikrobiologischen Ausnahmezustand. Reparaturmechanismen laufen auf Hochtouren, während gleichzeitig ständig neue Schäden entstehen.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Wie bei einer alten Industrieanlage, die tagsüber repariert wird und nachts schon wieder neue Korrosionsstellen entwickelt.

**Die Rolle des Immunsystems** Besonders faszinierend bleibt die Rolle des Immunsystems. Gesunde Haut besitzt ein erstaunlich aktives Netzwerk aus Immunzellen, das beschädigte oder auffällige Zellverbände normalerweise früh erkennt (Swann & Smyth, 2007). Tumoren lernen jedoch oft, genau diese Kontrollsysteme zu umgehen.

Der Krebs versteckt sich gewissermaßen mitten im biologischen Grenzgebiet des Körpers und beginnt dort langsam seine eigene Schattenstruktur aufzubauen.

(Siehe Abb. 2.3, Seite 32.)

Wie in Abbildung 2.3, Seite 32 dargestellt, versuchen Immunzellen ständig, entgleiste Zellpopulationen zu erkennen und zu kontrollieren.

Gleichzeitig zeigt Hautkrebs besonders deutlich, wie eng Umwelt, Lebensstil, Entzündungen, Alterungsprozesse und Stoffwechsel miteinander verbunden sind. Chronische Sonnenbelastung, Solarium-Nutzung oder dauerhafte Hautschäden verändern über Jahre hinweg das gesamte mikroökologische Milieu des Gewebes.

**Neue Therapien und Immunmedizin** Die moderne Medizin hat gerade beim Hautkrebs enorme Fortschritte gemacht. Früher bedeutete ein metastasiertes Melanom oft eine äußerst schlechte Prognose. Heute verändern Immuntherapien und zielgerichtete Medikamente die Behandlungsmöglichkeiten grundlegend (Hodi u. a., 2010).

Besonders spannend ist dabei erneut die Verbindung zwischen Tumor und Immunsystem. Manche Therapien versuchen nicht primär, den Krebs direkt zu zerstören, sondern die körpereigene Abwehr wieder in die Lage zu versetzen, die entgleisten Zellpopulationen selbst zu erkennen.

Man könnte sagen: Die biologische Grenzpolizei soll wieder lernen, welche Strukturen eigentlich nicht mehr zum normalen Betrieb gehören.

**Die Haut als Landkarte biologischer Vergangenheit** Und trotzdem bleibt Hautkrebs auch eine Art Warnsignal moderner Lebensweise. Die Haut vergisst Belastungen nicht. Jahrzehnte aus UV-Stress, Entzündungen, chemischer Belastung oder gestörten Reparaturprozessen hinterlassen Spuren im biologischen Material.

Interessanterweise wird gerade beim Hautkrebs besonders sichtbar, dass Krebs selten plötzlich entsteht. Meist entwickelt sich die Erkrankung langsam innerhalb eines über Jahre gestörten mikroökologischen Klimas.

Die Haut wirkt dabei beinahe wie eine Landkarte biologischer Vergangenheit. Jede Falte, jede Schädigung und jede chronische Belastung erzählt etwas über den langen Dauerbetrieb dieses äußeren Schutzsystems.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Und mitten in genau diesem beanspruchten Grenzgebiet beginnt der Tumor schließlich zu wachsen: nicht als isolierter Defekt, sondern wie eine entgleiste Reparaturzone im äußeren Schutzwall des Körpers – dort, wo Sonne, Entzündung, oxidativer Stress und metabolische Erschöpfung über Jahrzehnte hinweg langsam die innere Ordnung des Gewebes destabilisiert haben.

### 4.8. Eierstockkrebs

*Dieses Kapitel folgt dem einheitlichen Patientenschema (siehe Beginn von Die häufigsten Krebsarten verstehen).*

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Eierstockkrebs=Krebsart(Eierstock)

BRCA<sub>Mutation</sub>=Mutation(Reparaturgen)

PARP<sub>Inhibitor</sub>=Therapie(Reparaturblockade)

Peritoneum=Gewebe(Bauchfell)

Eierstockkrebs gehört zu jenen Erkrankungen, die oft viel zu lange im Verborgenen arbeiten. Keine großen Warnsirenen. Keine spektakulären Symptome. Eher kleine Veränderungen wie Blähungen, Druckgefühl, Müdigkeit oder leichte Bauchprobleme – Dinge also, die man schnell auf Stress, Ernährung oder einfach das Älterwerden schiebt. Und genau darin liegt die Heimtücke.

Denn während außen noch scheinbar Normalbetrieb herrscht, beginnt sich tief im Bauchraum oft bereits eine hochkomplexe Tumorlandschaft auszubreiten. Viele Eierstocktumoren werden deshalb erst entdeckt, wenn sich der Krebs längst innerhalb des Bauchraumes verteilt hat (Reid u. a., 2017).

**Die Eierstöcke als hormonelle Schaltzentren** Die Eierstöcke selbst sind biologisch bemerkenswerte Organe. Sie arbeiten mitten im hormonellen Steuerungssystem des Körpers und reagieren empfindlich auf Zellteilung, Entzündungen, Stoffwechselveränderungen und hormonelle Schwankungen. Monat für Monat laufen dort Prozesse ab, die Reparatur, Umbau und Neubildung von Gewebe erfordern.

Man könnte sagen: Im inneren Maschinenraum herrscht dort dauerhaft biologischer Schichtbetrieb. Und überall dort, wo ständig repariert, geteilt und umgebaut wird, steigt langfristig auch das Risiko biologischer Fehlentwicklungen.

Wie in Abbildung 8.1, Seite 191 sichtbar wird, greifen hormonelle Steuerung, Stoffwechsel und Zellkommunikation tief ineinander.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Besonders interessant ist, dass moderne Forschungen Eierstockkrebs heute nicht mehr ausschließlich im Eierstock selbst verorten. Manche aggressive Tumorformen scheinen möglicherweise ursprünglich aus den Eileitern zu entstehen (Crum u. a., 2010). Der Krebs entwickelt sich dadurch eher als komplexer Prozess innerhalb eines größeren mikroökologischen Systems des Bauchraumes.

**Der Bauchraum als Ausbreitungslandschaft** Gerade dieser Bauchraum wird später oft zum eigentlichen Problemgebiet.

Tumorzellen können sich dort relativ leicht ausbreiten. Sie lösen sich ab, treiben gewissermaßen durch die Bauchhöhle und siedeln sich an neuen Stellen an: am Bauchfell, an Darmstrukturen, an Organoberflächen oder zwischen empfindlichen Gewebefalten. Das Ganze erinnert manchmal an einen stillen biologischen Schmuggelverkehr durch ein riesiges unterirdisches Leitungssystem.

Besonders belastend ist für viele Patientinnen die diffuse Unsicherheit der frühen Symptome. Der Körper sendet zwar Signale, aber oft keine eindeutigen. Erst später entstehen Bauchumfangszunahme, Wasseransammlungen, starke Erschöpfung oder deutlicher Gewichtsverlust.

Und plötzlich wird sichtbar, dass tief im metabolischen Hintergrund längst massive Veränderungen ablaufen.

**Entzündung und metabolische Anpassung** Interessanterweise spielt auch hier Entzündung offenbar eine wichtige Rolle. Chronische Reizungen, oxidativer Stress und hormonelle Signalräume beeinflussen die empfindliche mikroökologische Umgebung des Gewebes (Karst & Drapkin, 2010).

Wieder taucht dieselbe große Grundmelodie moderner Tumorbilogie auf: gestörte Reparatur, Dauerstress, entzündliche Belastung und chaotische Stoffwechselräume. Der Tumor wächst nicht isoliert, sondern mitten in einem empfindlichen biologischen Kommunikationssystem.

Besonders faszinierend bleibt die Fähigkeit vieler Eierstocktumoren, sich metabolisch an extrem unterschiedliche Bedingungen anzupassen. Sauerstoffarme Regionen, schlechte Versorgung oder entzündliche Milieus scheinen manche Tumorzellen erstaunlich gut zu tolerieren.

Wie improvisierte Schattenstrukturen, die selbst in halb zerstörten Versorgungssystemen irgendwie weiterarbeiten.

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 dargestellt, entstehen unter chronischer Belastung komplexe entzündliche und metabolische Stresslandschaften.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

**Neue Therapien und genetische Faktoren** Die Behandlung besteht heute meist aus einer Kombination aus Operation, Chemotherapie und zunehmend auch zielgerichteten Therapien wie PARP-Inhibitoren (Moore u. a., 2018). Gerade genetische Faktoren wie BRCA-Mutationen spielen bei bestimmten Tumorformen eine wichtige Rolle.

Auch hier verändert sich die Medizin zunehmend Richtung personalisierter Strategien. Nicht mehr nur: „Wo sitzt der Tumor?“ sondern: Wie organisiert er seinen Stoffwechsel? Welche Reparaturmechanismen nutzt er? Wie sieht sein mikroökologisches Umfeld aus? Denn der Krebs lebt niemals allein aus einer Mutation heraus. Er entsteht innerhalb eines gesamten biologischen Klimas aus Hormonen, Entzündungen, Immunreaktionen und metabolischer Anpassung.

**Der schleichende Energieverlust des Organismus** Vielleicht erklärt genau das auch die enorme Erschöpfung vieler Patientinnen. Der Tumor sitzt mitten in einem System, das ohnehin ständig fein reguliert werden muss. Gerät dort etwas dauerhaft außer Kontrolle, beginnt der gesamte Organismus langsam Energie zu verlieren.

Wie ein komplexes Leitungssystem, in dem irgendwo tief im Inneren ständig Druck entweicht, während die Hauptpumpen verzweifelt versuchen, den Betrieb noch stabil zu halten.

Und mitten in diesem empfindlichen hormonellen und metabolischen Netzwerk baut der Krebs schließlich seine eigene Infrastruktur auf – still, lange unsichtbar und oft erst dann deutlich erkennbar, wenn sich die entgleiste biologische Landschaft bereits weit über ihren ursprünglichen Ausgangspunkt hinaus ausgebreitet hat.

### 4.9. Blutkrebs und Leukämie

*Dieses Kapitel folgt dem einheitlichen Patientenschema (siehe Beginn von Die häufigsten Krebsarten verstehen).*

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Stammzelltransplantation=Therapie(Systemneustart)

CARTZelle=Zelle(Genmodifikation)

Blutkrebs fühlt sich für viele Menschen besonders unheimlich an. Vielleicht, weil hier kein klarer Tumorknoten existiert, den man einfach herausschneiden könnte. Keine einzelne sichtbare Geschwulst irgendwo im Gewebe. Stattdessen gerät plötzlich das gesamte innere Versorgungssystem des Körpers aus dem Gleichgewicht.

Das Blut selbst wird gewissermaßen zum Schauplatz der Erkrankung. Und genau deshalb wirkt Leukämie oft so anders als viele andere Krebsarten.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

**Das Knochenmark als biologisches Versorgungskombinat** Normalerweise produziert das Knochenmark Milliarden neuer Blutzellen pro Tag. Ein gigantischer biologischer Schichtbetrieb läuft dort permanent im Hintergrund: rote Blutkörperchen für den Sauerstofftransport, weiße Blutkörperchen für die Immunabwehr und Blutplättchen für die Gerinnung.

Alles streng reguliert. Präzise abgestimmt. Wie ein riesiges Versorgungskombinat mit angeschlossener Sicherheitszentrale.

Doch bei Leukämien beginnt genau dieses System zu entgleisen (Hoffbrand u. a., 2016). Einzelne Vorläuferzellen verlieren ihre normale Kontrolle, teilen sich ungebremst weiter und verdrängen nach und nach die gesunde Blutbildung.

Man könnte sagen: Mitten im biologischen Hauptlager übernehmen plötzlich chaotische Schattenbrigaden den gesamten Betrieb.

Wie in Abbildung 4.1, Seite 104 sichtbar wird, können bereits kleine Störungen innerhalb der Zellregulation massive Auswirkungen auf das gesamte biologische Versorgungssystem entfalten.

Das Problem dabei: Die krankhaften Zellen funktionieren oft kaum noch richtig. Sie vermehren sich zwar massiv, übernehmen aber ihre eigentlichen Aufgaben nicht mehr zuverlässig. Der Körper gerät dadurch gleichzeitig in Sauerstoffmangel, Infektanfälligkeit, Blutungsrisiken und schwere Erschöpfungszustände.

Wie ein Versorgungssystem, das äußerlich voller Aktivität wirkt, intern aber immer schlechter arbeitet.

**Warum Leukämien so unterschiedlich verlaufen** Besonders faszinierend ist, wie unterschiedlich Leukämien auftreten können. Manche verlaufen aggressiv und entwickeln sich innerhalb weniger Wochen, andere wachsen langsam über Jahre hinweg beinahe unbemerkt (Mansouri u. a., 2012). Einige betreffen vor allem unreife Vorläuferzellen, andere eher ausgereifte Zellpopulationen.

Der Krebs wirkt dadurch weniger wie eine einzelne Krankheit und eher wie eine ganze Familie biologischer Fehlsteuerungen innerhalb des blutbildenden Systems.

Interessanterweise zeigt sich auch hier wieder die enorme Bedeutung des Stoffwechsels. Leukämiezellen verändern ihre Energieversorgung, passen ihre mitochondriale Aktivität an und nutzen bestimmte Stoffwechselwege besonders intensiv (Jones u. a., 2016).

Der Tumor lebt also nicht bloß von genetischen Mutationen, sondern organisiert sich metabolisch neu.

Manchmal erinnert das Ganze an ein gigantisches Verteilernetz mit ständig flackernden Stromkreisen und improvisierten Notleitungen. Das Knochenmark versucht weiterzuarbeiten, während gleichzeitig immer mehr fehlerhafte Zellverbände die Kontrolle übernehmen.

## 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

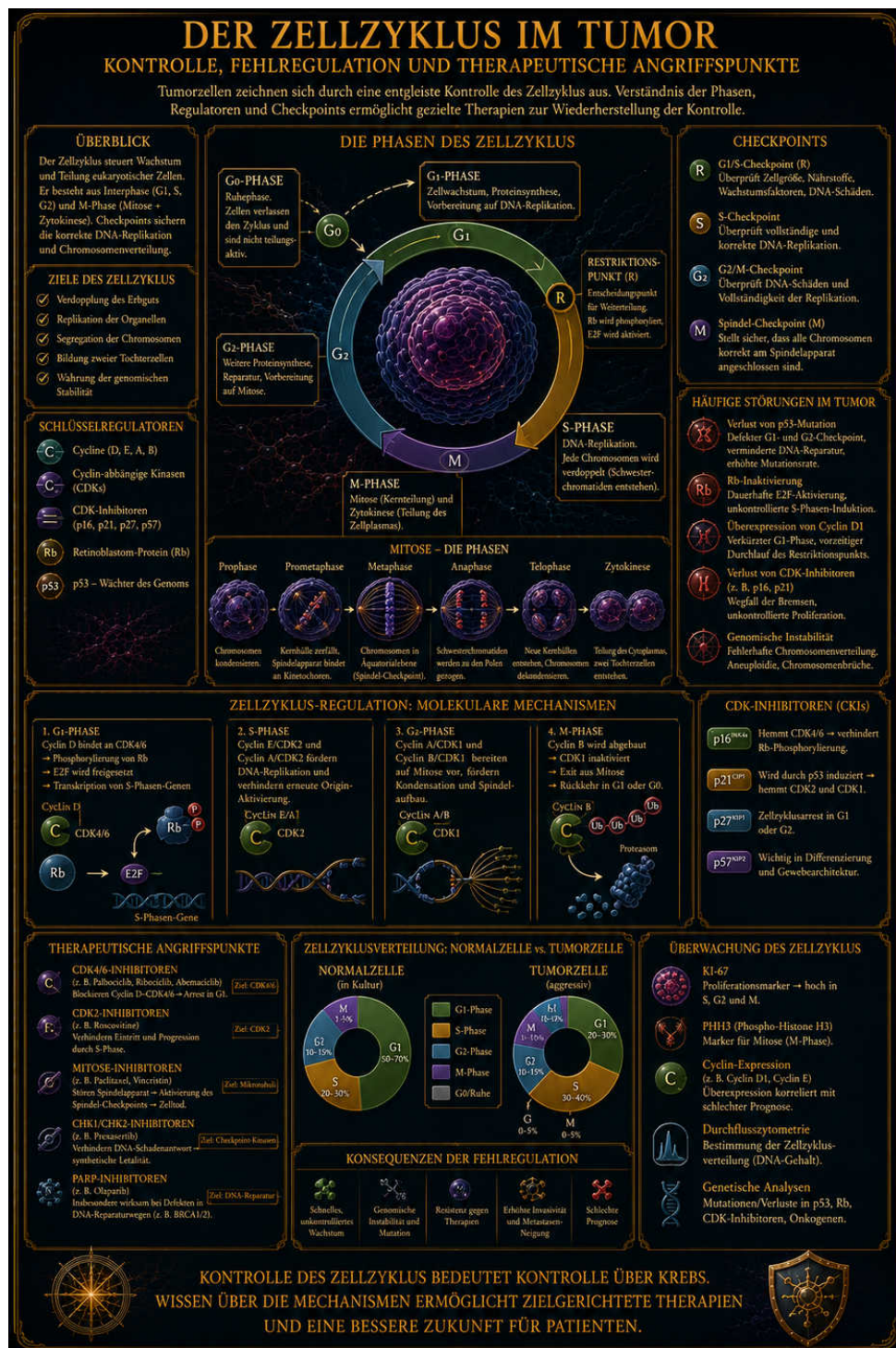


Abbildung 4.1.: Entgleiste Zellteilung und gestörte Regulationsprozesse spielen bei Leukämien eine zentrale Rolle.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

**Der Organismus im biologischen Krisenbetrieb** Besonders belastend für Patienten ist oft die Geschwindigkeit, mit der sich akute Leukämien entwickeln können. Menschen fühlen sich plötzlich erschöpft, kurzatmig, anfällig für Infekte oder entwickeln unerklärliche Blutungen und Fieberzustände.

Der Körper gerät gewissermaßen innerhalb kurzer Zeit in biologischen Krisenbetrieb. Und trotzdem gehört die Leukämieforschung gleichzeitig zu jenen Bereichen, in denen die moderne Medizin enorme Fortschritte erzielt hat. Viele Therapien wirken heute deutlich präziser als früher. Chemotherapie bleibt zwar häufig ein zentraler Bestandteil, doch zunehmend kommen zielgerichtete Medikamente, Antikörper, Immuntherapien und Stammzelltransplantationen hinzu.

(Siehe Abb. 2.3, Seite 32.)

Wie in Abbildung 2.3, Seite 32 dargestellt, stehen Tumoren und Immunsystem in permanenter biologischer Wechselwirkung.

**Stammzelltransplantation als biologischer Neustart** Gerade Stammzelltransplantationen wirken beinahe wie ein kompletter Neustart des inneren Versorgungssystems (Copelan, 2006). Nach intensiver Therapie versucht man, das blutbildende System biologisch neu aufzubauen.

Natürlich ist das hochriskant und belastend. Der Organismus läuft dabei zeitweise praktisch ohne funktionierende Immunabwehr. Wie ein riesiges Kraftwerk, dessen komplette Steuerzentrale im laufenden Betrieb ausgetauscht wird.

Besonders spannend bleibt die Rolle des Immunsystems. Viele moderne Therapien versuchen inzwischen, Leukämiezellen gezielt immunologisch sichtbar zu machen oder körpereigene Abwehrmechanismen wieder zu aktivieren.

CAR-T-Zelltherapien etwa verändern Immunzellen genetisch, damit diese bestimmte Krebszellen gezielt erkennen können (Maude u. a., 2018). Vor wenigen Jahrzehnten hätte vieles davon beinahe wie Science-Fiction geklungen.

**Krebs im inneren Transportsystem des Körpers** Und trotzdem zeigt Leukämie vielleicht deutlicher als viele andere Krebsarten, dass Krebs keine isolierte Struktur ist. Hier entgleist nicht bloß irgendein Organ. Vielmehr geraten Blutbildung, Immunsteuerung, Energieversorgung und zelluläre Kommunikation gleichzeitig außer Kontrolle.

Der Krebs wächst mitten im inneren Transportsystem des Körpers – genau dort, wo normalerweise Ordnung, Versorgung und Schutz organisiert werden.

Oder einfacher gesagt: Im biologischen Hauptbahnhof des Organismus beginnt plötzlich ein chaotischer Schattenbetrieb zu übernehmen – und der gesamte Körper spürt nach und nach, dass die inneren Versorgungslinien nicht mehr sauber funktionieren.

## 4.10. Hirntumore

*Dieses Kapitel folgt dem einheitlichen Patientenschema (siehe Beginn von Die häufigsten Krebsarten verstehen).*

Das Gehirn ist kein gewöhnliches Organ. Es steuert Denken, Sprache, Bewegung, Gedächtnis, Persönlichkeit und unzählige unbewusste Regulationsprozesse gleichzeitig. Wenn dort ein Tumor wächst, spürt das der gesamte Organismus — oft früh, manchmal dramatisch.

Hirntumore sind deshalb für viele Menschen besonders beängstigend. Nicht nur wegen der Diagnose „Krebs“, sondern weil plötzlich jene Struktur betroffen sein kann, die uns am meisten wie wir selbst erscheint.

**Primärer Hirntumor oder Hirnmetastase?** Grundsätzlich unterscheidet die Medizin zwei große Gruppen:

- **Primäre Hirntumore** entstehen aus dem Gehirn- oder Rückenmarksgewebe selbst — z. B. Gliome, Meningeome oder Astrozytome (WHO Classification of Tumours Editorial Board, 2021; DeVita u. a., 2019).
- **Hirnmetastasen** sind Tochterherde anderer Krebsarten — häufig von Lunge, Brust, Melanom oder Niere — die über Blut oder Lymphsystem ins Gehirn gelangt sind (DeVita u. a., 2019).

Diese Unterscheidung ist entscheidend. Sie bestimmt Diagnostik, Therapie und Prognose. Ein Hirnmetastase-Patient braucht oft eine Strategie für *zwei* Probleme: den Tumor im Gehirn und die Erkrankung, von der er ausging.

**Häufige Hirntumorarten** Primäre Hirntumore sind insgesamt seltener als viele andere Krebsarten, aber biologisch sehr vielfältig (WHO Classification of Tumours Editorial Board, 2021):

- **Glioblastom** — hochgradiger Tumor aus Gliazellen; gehört zu den aggressivsten Formen (Stupp u. a., 2005).
- **Astrozytom** — variiert von langsam wachsend bis hochmalign; WHO-Grad bestimmt das Verhalten.
- **Oligodendrogliom** — oft langsamer wachsend; molekulare Marker beeinflussen die Therapie.
- **Meningeom** — meist gutartig, wächst von den Hirnhäuten aus; kann dennoch durch Druck Symptome verursachen.
- **Hirnmetastasen** — häufiger als viele primäre Hirntumore; viele Herde möglich.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Der Tumor verhält sich dabei wie eine wachsende Raumforderung in einem hochsensiblen Steuerungszentrum. Schon kleine Veränderungen können große Auswirkungen haben — je nach Lage im Gehirn.

**Typische Symptome — wann neurologisch abklären?** Symptome hängen stark von der Tumorlage ab. Häufig genannt werden (Deutsche Hirntumorhilfe e.V., 2024; DeVita u. a., 2019):

- neue, zunehmende oder morgendliche Kopfschmerzen
- Krampfanfälle ohne bekannte Epilepsie
- Sprach-, Seh- oder Hörstörungen
- Gedächtnis- oder Konzentrationsprobleme
- Persönlichkeitsveränderungen
- Lähmungen, Taubheitsgefühle, Gleichgewichtsstörungen

##### Neue neurologische Symptome ernst nehmen

Plötzliche starke Kopfschmerzen, Krampfanfälle, neue Lähmungen oder Bewusstseinsstörungen sind *akute* Warnzeichen — hier zählt sofortige ärztliche Abklärung (Notruf 112). Langsam zunehmende Beschwerden sollten zeitnah mit Hausarzt oder Neurologie besprochen werden.

**Diagnostik** Die neurologische Untersuchung ist der Ausgangspunkt. Bildgebung liefert die entscheidenden anatomischen Informationen:

- **MRT (Magnetresonanztomographie)** — Standard zur Darstellung von Hirntumoren; zeigt Lage, Größe und Umgebung (DeVita u. a., 2019).
- **CT** — schnell verfügbar, z. B. in Notfallsituationen.
- **PET** — ergänzend bei Metastasensuche oder Verlaufskontrolle, nicht allein diagnostisch ausreichend.
- **Biopsie oder Operation** — oft nötig, um den genauen Tumortyp histologisch und molekular zu sichern (WHO Classification of Tumours Editorial Board, 2021).

Molekulare Marker (z. B. IDH-Mutation, MGMT-Methylierung) werden zunehmend für Prognose und Therapieplanung genutzt (WHO Classification of Tumours Editorial Board, 2021; European Association of Neuro-Oncology, 2023).

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

**Standardtherapien** Die Behandlung wird im interdisziplinären Tumorboard geplant — Neurochirurgie, Radioonkologie, Neurologie und Onkologie arbeiten zusammen (European Association of Neuro-Oncology, 2023; DeVita u. a., 2019). Typische Säulen:

- **Operation** — wenn möglich, Entlastung und Gewebeentnahme; Ziel ist oft maximale sichere Resektion.
- **Bestrahlung** — besonders bei malignen Gliomen und Metastasen.
- **Chemotherapie** — z. B. *Temozolomid* beim Glioblastom (Stupp u. a., 2005).
- **Tumor-Treating Fields (TTF)** — elektische Felder zur Zusatztherapie; evidenzbasiert bei Glioblastom, nicht überall verfügbar (European Association of Neuro-Oncology, 2023).

Bei Hirnmetastasen kommen je nach Ausgangstumor Immuntherapien, zielgerichtete Medikamente oder systemische Chemotherapie hinzu. Die Therapie ist heute deutlich differenzierter als noch vor wenigen Jahrzehnten — aber sie bleibt anspruchsvoll.

**Ernährung, Stoffwechsel und Forschung** Viele Patienten fragen nach ketogener Ernährung, Zuckerreduktion oder Nahrungsergänzung. Der Stoffwechsel spielt im Gehirn eine zentrale Rolle — Glukose und Ketonkörper versorgen Nervenzellen, und der Warburg-Effekt ist auch in Hirntumoren beschrieben.

Gleichzeitig gilt: *Evidenz für spezielle Ernährungsprotokolle als Ersatz oder sichere Ergänzung zur Standardtherapie ist begrenzt.* Einige Ansätze werden in Studien geprüft; überzeugende Heilversprechen gibt es nicht. Ketogene Diäten können Nebenwirkungen haben und gehören nur in ärztlich begleitete Settings.

Chancen und Grenzen ehrlich benennen heißt: Standardtherapie nicht ersetzen, aber Ernährung, Bewegung, Schlaf und Stressregulation als unterstützende Säulen der Lebensqualität verstehen — im Gespräch mit dem behandelnden Team.

**Das Gehirn als metabolisches Hochleistungssystem** Wie in anderen Tumorarten steht auch hier der Stoffwechsel im Zentrum biologischer Anpassung. Sauerstoffmangel, Entzündung und gestörte Energieversorgung prägen das Tumormilieu. Das Gehirn verbraucht unter normalen Bedingungen enorme Energiemengen — ein Tumor darin wirkt wie ein unkontrollierter Nebenbetrieb in der zentralen Schaltzentrale.

*Leitmotiv — Krebs als Störung biologischer Regulationsräume:* Hirntumore verbinden neurologische Symptome, präzise Bildgebung und interdisziplinäre Therapie — Verstehen hilft, Angst zu ordnen und Entscheidungen mitzutragen.

## Was Sie sich merken sollten

- Primärer Hirntumor und Hirnmetastase sind unterschiedliche Ausgangssituationen.
- Neue neurologische Symptome gehören zeitnah in die ärztliche Abklärung.
- MRT und oft Histologie klären Typ und Therapieweg.
- Standardtherapie (Operation, Bestrahlung, Chemotherapie) ist der Maßstab — Ergänzungen nur begleitend und evidenzbasiert besprechen.

## Was Sie konkret tun können

*Orientierung und Selbstorganisation — keine medizinischen Anweisungen.*

- **Warnzeichen notieren:** Art, Beginn und Verlauf von Kopfschmerzen, Krämpfen oder neurologischen Ausfällen — mitbringen zum Termin.
- **Neurologische Symptome abklären:** bei akuten Ausfällen Notruf; bei schleichenden Veränderungen zeitnah Termin vereinbaren.
- **Therapieentscheidungen verstehen:** Tumorboard-Empfehlung schriftlich geben lassen; Begriffe nachfragen.
- **Zweitmeinung nutzen:** bei schweren Diagnosen ist eine zweite fachliche Einschätzung legitim.
- **Alltag stabilisieren:** Schlaf, leichte Bewegung, verträgliche Ernährung — im Abstimm mit dem Behandlungsteam.

### 4.11. Metastasen und systemische Ausbreitung

*Dieses Kapitel folgt dem einheitlichen Patientenschema (siehe Beginn von Die häufigsten Krebsarten verstehen).*

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Tumorzelle=Zelle(Fehlsteuerung)

Seed<sub>And</sub>Soil=Modell(Tumorausbreitung)

Der eigentliche Schrecken vieler Krebserkrankungen beginnt oft nicht mit dem ersten Tumor, sondern mit dem Moment, in dem der Krebs anfängt zu wandern.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Metastasen verändern alles. Solange ein Tumor lokal begrenzt bleibt, denken viele Menschen noch in klaren Bildern: herauschneiden, bestrahlen, entfernen, kontrollieren. Doch sobald Krebszellen beginnen, sich über Blut- oder Lymphbahnen im Körper auszubreiten, verwandelt sich die Erkrankung in etwas völlig anderes. Dann entsteht keine einzelne Baustelle mehr, sondern ein ganzes Netzwerk biologischer Außenposten. Man könnte sagen: Der Tumor verlässt sein ursprüngliches Territorium und beginnt, an anderen Stellen des Körpers neue Schatteninfrastrukturen aufzubauen.

Genau das macht Metastasen so gefährlich.

**Die Wanderung der Tumorzellen** Interessanterweise schaffen es nur sehr wenige Krebszellen überhaupt, diesen Prozess zu überleben (Chaffer & Weinberg, 2011). Der Weg durch den Organismus ist brutal. Zellen müssen sich aus dem Ursprungsgewebe lösen, Gefäßwände durchbrechen, im Blutstrom überleben, dem Immunsystem entkommen und sich schließlich irgendwo neu ansiedeln.

Das Ganze erinnert beinahe an eine biologische Untergrundmigration durch ein hochgefährliches Leitungssystem. Und trotzdem gelingt genau das manchen Tumorzellen erstaunlich gut.

**Warum Tumoren bevorzugte Zielorte besitzen** Besonders faszinierend ist dabei, dass Metastasen oft bevorzugte Zielorte besitzen. Brustkrebs metastasiert häufig in Knochen oder Leber, Prostatakrebs bevorzugt ebenfalls das Skelettsystem, Darmkrebs landet oft zuerst in der Leber und Lungenkrebs breitet sich häufig Richtung Gehirn aus (Fidler, 2003).

Offenbar suchen Tumorzellen nicht zufällig neue Orte aus.

Die berühmte „Seed and Soil“-Hypothese beschreibt genau dieses Phänomen: Die Krebszelle ist der Samen, das Zielgewebe der Boden. Und nur wenn beide biologisch zusammenpassen, kann sich eine neue Tumorlandschaft erfolgreich entwickeln.

Das bedeutet: Metastasen entstehen nicht bloß durch wandernde Krebszellen allein. Entscheidend ist auch, ob das neue Gewebe genügend Versorgung bietet, entzündlich verändert ist, passende Signalstoffe liefert oder metabolisch günstige Bedingungen besitzt.

Der Krebs wächst also niemals isoliert. Er braucht ein mikroökologisches Umfeld, das seine Ansiedlung unterstützt.

**Metabolische Anpassung unter Extrembedingungen** Besonders spannend wird das aus metabolischer Sicht. Metastasierende Zellen müssen sich extrem flexibel anpassen können. Sauerstoffmangel, oxidativer Stress, Immunangriffe und wechselnde Energieversorgung setzen sie permanent unter Druck (Pavlova & Thompson, 2016).

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Viele Tumorzellen verändern deshalb ihren Zuckerstoffwechsel, ihre Mitochondrienfunktion, ihre Zelloberflächen und ihre Beweglichkeit. Der Krebs wirkt manchmal wie ein hoch improvisationsfähiger Nomadenbetrieb, der ständig neue Versorgungslinien erschließt.

Wie in Abbildung 6.2, Seite 128 dargestellt, entwickeln Tumoren hochflexible metabolische Anpassungsstrategien unter wechselnden biologischen Bedingungen.

**Der Organismus im systemischen Ausnahmezustand** Gleichzeitig entstehen durch Metastasen völlig neue Probleme im Organismus. Ein Tumor in der Leber beeinflusst Stoffwechsel und Entgiftung, Knochenmetastasen verändern Mineralhaushalt und Schmerzsysteme und Hirnmetastasen greifen tief in neurologische Steuerungsprozesse ein.

Der Körper gerät dadurch zunehmend in systemischen Ausnahmezustand. Viele Patienten spüren das sehr deutlich: chronische Erschöpfung, Gewichtsverlust, Entzündungsgefühl, Appetitverlust oder diffuse Schwäche. Nicht selten entsteht das Gefühl, der gesamte Organismus verliere langsam seine innere Stabilität.

Wie ein großes Kraftwerk, bei dem plötzlich nicht mehr bloß eine Maschine ausfällt, sondern nach und nach immer mehr Teilbereiche gleichzeitig Probleme bekommen.

**Therapie gegen adaptive Tumorsysteme** Besonders schwierig bleibt die therapeutische Kontrolle metastasierter Erkrankungen. Einzelne Tumorherde können biologisch sehr unterschiedlich reagieren. Manche sprechen gut auf Therapien an, andere entwickeln rasch neue Resistenzen.

Der Krebs baut gewissermaßen ständig neue metabolische Ausweichrouten. Und trotzdem hat sich auch hier vieles verändert.

Moderne Therapien versuchen heute zunehmend: Immunreaktionen zu aktivieren, Signalwege gezielt zu blockieren, metabolische Besonderheiten auszunutzen oder Tumorzellen molekular präziser anzugreifen.

Die Medizin beginnt langsam zu verstehen, dass Metastasen nicht bloß „Ableger“ sind, sondern eigenständige biologische Ökosysteme mit eigener Dynamik.

**Krebs als systemische Erkrankung** Interessanterweise zeigen Metastasen vielleicht am deutlichsten, dass Krebs keine lokale Erkrankung bleibt. Der Tumor verändert Stoffwechsel, Immunsystem, Hormonsysteme, Gefäßbildung und Energieorganisation des gesamten Körpers.

Der Organismus arbeitet irgendwann nicht mehr im normalen Gleichgewicht, sondern in permanentem biologischen Krisenmanagement.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Oder einfacher gesagt: Der Krebs errichtet nicht nur irgendwo einen einzelnen Schwarzbau. Er beginnt nach und nach, ein ganzes Netz aus metabolischen Außenposten aufzubauen – verbunden durch die inneren Transport- und Versorgungssysteme des Körpers selbst.

### 4.12. Krebs bei Kindern und jungen Menschen

*Dieses Kapitel folgt dem einheitlichen Patientenschema (siehe Beginn von Die häufigsten Krebsarten verstehen).*

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

KindlicherTumor=Tumor(Entwicklung)

Entwicklung=Prozess(Aufbau)

EmbryonalesSignal=Signal(Embryo)

Zellteilung=Prozess(Vervielfachung)

Kaum etwas erschüttert Menschen so stark wie Krebs bei Kindern. Vielleicht, weil dabei sofort das intuitive Gefühl entsteht, dass hier etwas biologisch völlig aus der Ordnung geraten sein muss. Erwachsene verbinden Krebs häufig mit Alter, Verschleiß, Rauchen, Stress, Umweltgiften oder jahrzehntelanger Belastung. Doch bei Kindern greifen viele dieser Erklärungen plötzlich nicht mehr. Und genau deshalb verändert Krebs im Kindesalter den Blick auf die gesamte Erkrankung.

**Der Organismus im Hochleistungs-Aufbaumodus** Der kindliche Körper arbeitet biologisch völlig anders als der Organismus älterer Menschen. Während Erwachsene häufig bereits gegen Verschleiß, Entzündungen, metabolische Überlastung und Reparaturermüdung kämpfen, befindet sich der Körper von Kindern noch mitten im gigantischen biologischen Aufbauprogramm. Zellen teilen sich schneller, Gewebe wachsen, Nervensysteme reorganisieren sich und selbst Immunstrukturen lernen permanent hinzu.

Man könnte sagen: Der gesamte Organismus arbeitet im biologischen Hochleistungsmodus.

Und genau dadurch entstehen besondere Risiken. Wenn innerhalb dieser hochaktiven Entwicklungslandschaft Regulationsprozesse entgleisen, breiten sich manche Tumoren extrem schnell aus. Kindliche Krebsformen wirken deshalb häufig aggressiver als viele klassische Tumoren älterer Menschen.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

**Warum kindliche Tumoren oft anders entstehen** Besonders häufig treten bei Kindern Leukämien, Hirntumoren, Lymphome, Neuroblastome oder Sarkome auf (Pui u. a., 2011). Viele dieser Tumoren entstehen nicht primär auf dem Boden jahrzehntelanger Stoffwechselbelastung, sondern eher innerhalb fehlgesteuerter Entwicklungsprogramme, genetischer Veränderungen oder embryonaler Signalprozesse.

Das macht kindliche Tumoren biologisch oft grundlegend anders. Manche Krebsarten erinnern beinahe an Entwicklungsprozesse, die plötzlich die Kontrolle verlieren – wie Baustellen im Organismus, auf denen einzelne Zellverbände anfangen, ohne zentrale Steuerung weiterzubauen.

*(Siehe Abb. 4.1, Seite 104.)*

Wie in Abbildung 4.1, Seite 104 sichtbar wird, können bereits kleine Störungen innerhalb hochaktiver Zellteilungsprozesse erhebliche biologische Auswirkungen entfalten.

**Leukämien als Erkrankungen des Blutsystems** Besonders häufig sind Leukämien. Dabei geraten Zellen des Blutsystems außer Kontrolle und verdrängen nach und nach die normale Blutbildung. Das Problem betrifft dadurch nicht bloß ein einzelnes Organ, sondern direkt die inneren Kommunikations- und Versorgungssysteme des Körpers. Der biologische Maschinenraum verliert gewissermaßen seine zentrale Steuerkoordination.

Viele Kinder wirken zunächst nur müde, blass, erschöpft oder anfällig für Infektionen. Oft ahnt zunächst niemand, dass sich tief im Knochenmark bereits massive Veränderungen entwickeln.

Und trotzdem besitzt gerade die Kinderonkologie heute erstaunliche therapeutische Möglichkeiten. Viele Leukämien können inzwischen erfolgreich behandelt werden. Kaum ein Bereich der Krebsmedizin hat in den letzten Jahrzehnten so große Fortschritte gemacht.

**Die enorme Belastung der Therapie** Gleichzeitig gehören die Therapien oft zu den belastendsten überhaupt. Chemotherapie, Bestrahlung, Stammzelltransplantationen oder intensive Immuntherapien greifen tief in den gesamten Organismus ein. Denn der kindliche Körper wächst noch. Genau deshalb beeinflussen Therapien häufig nicht nur Tumoren, sondern gleichzeitig Entwicklung, Hormonsysteme, Knochenwachstum, Fruchtbarkeit, Nervensystem und Stoffwechsel.

Man könnte sagen: Die Medizin versucht mitten in einem laufenden biologischen Aufbauprozess einen schweren Maschinenbrand zu löschen, ohne dabei das gesamte Kraftwerk dauerhaft zu beschädigen.

*(Siehe Abb. 2.3, Seite 32.)*

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

Wie in Abbildung 2.3, Seite 32 dargestellt, stehen Tumoren und Immunsystem in permanenter biologischer Wechselwirkung.

**Warum junge Organismen oft erstaunlich widerstandsfähig sind** Und trotzdem zeigen junge Organismen häufig eine beeindruckende Regenerationsfähigkeit. Kinder erholen sich teilweise von Therapien, die Erwachsene biologisch viel schlechter verkraften würden. Gewebe regenerieren schneller, Stoffwechselprozesse bleiben flexibler und der Organismus besitzt noch enorme Anpassungsreserven.

Das bedeutet natürlich nicht, dass Krebs bei Kindern harmloser wäre. Ganz im Gegenteil. Gerade die Geschwindigkeit vieler Tumoren macht die Erkrankung oft so bedrohlich. Doch gleichzeitig zeigt sich hier vielleicht besonders deutlich, wie leistungsfähig biologische Reparatur- und Regenerationssysteme grundsätzlich sein können.

**Krebs als Störung biologischer Entwicklungsordnung** Krebs bei jungen Menschen macht sichtbar, dass Tumoren weit mehr sind als bloße Alters- oder Verschleißerkrankungen. Der Krebs entsteht auch dort, wo Wachstum, Entwicklung, Zellteilung und biologische Organisation besonders aktiv sind.

Vielleicht zeigt sich gerade bei kindlichen Tumoren besonders deutlich, dass Krebs im Kern eine tiefgreifende Störung biologischer Ordnungs- und Regulationsprozesse darstellt.

Mitten im gigantischen Aufbauprogramm eines jungen Organismus beginnt plötzlich irgendwo ein entgleister Schattenprozess zu laufen – zunächst unsichtbar, später jedoch mit enormer Dynamik innerhalb des gesamten biologischen Systems.

### Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels

- „Krebs“ umfasst viele Tumorarten mit unterschiedlichem Verlauf, Stoffwechsel und Therapieansprechen.
- Brust-, Darm-, Lungen-, Prostata- und anderen Organen sind eigene biologische „Landschaften“ zugeordnet.
- Metastasen bedeuten Ausbreitung — nicht automatisch „Ende aller Optionen“, aber ernste Umstellung der Strategie.
- Leukämien betreffen das blutbildende System — andere Logik als solide Organ-tumoren.
- Kinder und Jugendliche brauchen spezialisierte onkologische Versorgung.
- Das Tumormikromilieu und der Stoffwechsel unterscheiden sich auch zwischen Krebsarten.

#### 4. Die häufigsten Krebsarten verstehen

- Hirntumore erfordern Unterscheidung zwischen primärem Tumor und Hirnmetastase — unterschiedliche Therapielogik.
- Neurologische Warnzeichen (Kopfschmerzen, Krampfanfälle, Ausfälle) gehören zeitnah in die Abklärung.
- Individualität des Tumors ist die Regel — Vergleiche mit anderen Betroffenen nur vorsichtig.

### Was Sie konkret tun können

*Orientierung und Selbstorganisation — keine medizinischen Anweisungen.*

- **Eigene Krebsart benennen können:** Organsystem, Histologie, Stadium — notieren und wiederholen lassen.
- **Metastasen verstehen:** Wo genau? Wie viele Herde? Welche Therapieziele folgen daraus?
- **Selbsthilfe gezielt wählen:** Gruppen für *Ihre* Krebsart finden — Erfahrungen sind nicht übertragbar.
- **Verläufe nicht verallgemeinern:** Statistiken beschreiben Gruppen, nicht zwingend Ihren Einzelfall.

#### **Fallbeispiel: Therapieentscheidung nach der Diagnose**

Eine 54-jährige Frau erhält die Mitteilung: Darmkrebs, operabel, keine Fernmetastasen. In den ersten Tagen liest sie widersprüchliche Online-Ratschläge. Sie vereinbart einen Termin im Tumorboard, nimmt ihren Partner mit, notiert fünf Fragen und bittet um eine schriftliche Zusammenfassung. Die Entscheidung für Operation und anschließende Chemotherapie trifft sie erst nach dem zweiten Fachgespräch — nicht unter Zeitdruck aus Angst.

Kein Einzelfall aus der Praxis; keine Heilungsaussage.

## Teil III.

# Hintergrundwissen

## 5. Begriffliche Orientierung (Nachschlage-Einstieg)

### Ihr Nutzen

Nach diesem Kapitel wissen Sie ...

- zentrale Fachbegriffe kontrolliert einführen,
- Deriver-Schreibweise als Orientierungshilfe nutzen,
- den biologischen “Maschinenraum” sprachlich kartieren.

### Wann ist das wichtig?

Wenn Sie Fachbegriffe nachschlagen oder den wissenschaftlichen Teil vorbereiten möchten.

### Was Sie sich merken sollten

- Begriffe zuerst verstehen, dann vertiefen.
- Propädeutik ist Werkzeug — kein Ersatz für ärztliche Aufklärung.

### Fragen für Ihren Arzt

- Welche Begriffe sind für *meine* Diagnose besonders relevant?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

### Sofort handeln, wenn ...

Kein Notfallkapitel — bei akuten Beschwerden Teil I und ärztliche Hilfe nutzen.  
Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

### Vertiefung

Dieses Kapitel stand früher am Buchanfang und dient nun als Hintergrund-/Nachschlageblock.

## 5.1. Basis-Terminologie des biologischen Maschinenraums

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Propaedeutik=Vorbereitung(Verständnis)

Zelle=Einheit(Leben)

Organell=Bestandteil(Zelle)

Mitochondrium=Organell(Energieproduktion)

Stoffwechsel=Prozess(Energieumwandlung)

Tumor=Gewebe(Fehlwachstum)

Bevor wir tiefer in Tumorbilogie, Stoffwechsel und Therapieformen eintauchen, lohnt sich ein Blick auf einige zentrale Grundbegriffe. Viele davon tauchen im weiteren Verlauf des Buches immer wieder auf. Die folgenden Rekonstruktionen dienen nicht als vollständige wissenschaftliche Definitionen, sondern als semantische Orientierungshilfen. Die Idee dahinter ist einfach: Komplexe Begriffe werden schrittweise aus allgemeineren Begriffen verständlich gemacht. Dadurch entsteht eine kleine begriffliche Landkarte des biologischen Maschinenraums.

### Grundlegende biologische Begriffe

Propaedeutik = Vorbereitung(Verständnis)

Leben = Prozess(Selbstorganisation) Organismus = System(Leben)

Zelle = Einheit(Leben)      Gewebe = Verband(Zelle)      Organ =

System(Gewebe)      Organell = Bestandteil(Zelle)      Mitochondrium  
= Organell(Energieproduktion)      DNA = Speicher(Information)

Gen = Abschnitt(DNA)      Protein = Werkzeug(Zelle)      Enzym =

Protein(Reaktion)

Diese Begriffe bilden gewissermaßen die Grundarchitektur des biologischen Systems. Zellen organisieren sich zu Geweben, Gewebe zu Organen und Organe zu komplexen Funktionsräumen des Organismus. Innerhalb der Zellen wiederum arbeiten Organellen wie hochspezialisierte Untereinheiten.

## 5. Begriffliche Orientierung (Nachschlage-Einstieg)

Mitochondrien spielen dabei eine besonders wichtige Rolle. Sie liefern nicht nur Energie, sondern beeinflussen auch Reparaturmechanismen, Signalprozesse, Zellstress und Immunreaktionen. Moderne Krebsforschung betrachtet sie deshalb zunehmend als zentrale Schaltstellen biologischer Stabilität.

### Stoffwechsel und Energieorganisation

|                                           |                                      |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| Stoffwechsel = Prozess(Energieumwandlung) | Zellatmung                           |
| = Prozess(Energiegewinnung)               | Glukose = Stoff(Energie)             |
| Ketonkoerper = Stoff(Ersatzenergie)       | Entzuendung =                        |
| Reaktion(Schaden)                         | Oxidationsstress = Stress(Oxidation) |
| Hypoxie = Zustand(Sauerstoffmangel)       | Autophagie =                         |
| Prozess(Selbstrecycling)                  | Apoptose = Prozess(Zelltod)          |

Der Stoffwechsel verteilt Energie, Baustoffe und chemische Informationen innerhalb des Körpers. Dabei entstehen fortlaufend Belastungen, Reparaturprozesse und Anpassungsreaktionen. Krebs entsteht nicht isoliert von diesen Vorgängen, sondern mitten in dieser dynamischen metabolischen Landschaft.

Besonders wichtig ist dabei die Fähigkeit des Organismus, flexibel auf Belastungen zu reagieren. Sauerstoffmangel, Entzündungen, oxidativer Stress oder gestörte Energieversorgung beeinflussen tiefgreifend, wie stabil biologische Systeme langfristig funktionieren.

### Tumorbiologie und Krebsmedizin

|                                           |                                            |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Tumor = Gewebe(Fehlwachstum)              | Krebs = Prozess(Entgrenzung)               |
| Metastase = Ausbreitung(Tumor)            | Angiogenese = Bildung(Blutgefäess)         |
| Tumormikromilieu = Mikromilieu(Tumor)     | Immunsystem =                              |
| System(Abwehr)                            | Immuntherapie = Therapie(Immunaktivierung) |
| Chemotherapie = Therapie(Zellschaedigung) | Hyperthermie =                             |
| Therapie(Waerme)                          |                                            |

Der Begriff „Krebs“ bezeichnet keine einzelne Krankheit, sondern eine Vielzahl biologischer Prozesse mit sehr unterschiedlichen Ursachen und Verlaufsformen. Gemeinsam ist vielen Tumoren jedoch die Fähigkeit, normale Regulationsmechanismen zu umgehen, Stoffwechselräume umzubauen und sich innerhalb des Organismus eigene Überlebenssysteme zu schaffen.

Deshalb erscheint Krebs in diesem Buch weniger als isolierter Fremdkörper und stärker als entgleiste Form biologischer Organisation innerhalb eines komplexen metabolischen Gesamtsystems.

## Warum diese Begriffskarten wichtig sind

Viele wissenschaftliche Begriffe wirken zunächst kompliziert, obwohl sie oft relativ einfache Grundideen beschreiben. Das Problem liegt meist weniger in der Biologie selbst als in der Sprache ihrer Darstellung.

Die kleinen Rekonstruktionen sollen deshalb helfen, Begriffe nicht bloß auswendig zu lernen, sondern ihre innere Struktur intuitiv zu erfassen.

Man könnte sagen: Sie funktionieren wie kleine Orientierungsschilder im biologischen Maschinenraum.

Später werden weitere Begriffe hinzukommen. Manche Definitionen werden präziser, andere differenzierter. Entscheidend ist zunächst nur, ein erstes Gefühl dafür zu entwickeln, wie Stoffwechsel, Zellbiologie, Energieorganisation und Tumorprozesse miteinander verbunden sind.

## 5.2. Lesehinweis zur semantischen Rekonstruktion

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Rekonstruktion=Zusammensetzung(Bedeutung)

Semantik=Lehre(Bedeutung)

Deriver-Stil=Schreibweise(Begriffsableitung)

Grundbegriff=Begriff(Allgemeines)

Spezifikation=Ergaenzung(Praezisierung)

Dieses Buch verwendet an vielen Stellen eine vereinfachte Form semantischer Rekonstruktion. Begriffe werden dabei nicht ausschließlich lexikalisch erklärt, sondern zusätzlich in eine strukturelle Bedeutungsbeziehung eingeordnet.

Die Schreibweise orientiert sich lose am sogenannten Deriver-Stil. Dabei wird ein Begriff durch einen allgemeineren Bedeutungsraum und eine präzisierende Spezifikation beschrieben.

Propaedeutik = Vorbereitung(Verständnis)

Tumor =

Gewebe(Fehlwachstum)

Hypoxie = Zustand(Sauerstoffmangel)

Organell = Bestandteil(Zelle) Mitochondrium = Organell(Energieproduktion)

Angiogenese = Bildung(Blutgefäß)

Die linke Seite bezeichnet jeweils den zu erklärenden Begriff. Die rechte Seite beschreibt eine vereinfachte semantische Rekonstruktion.

Ein Tumor wird beispielsweise nicht bloß als medizinisches Fremdwort behandelt, sondern als eine besondere Form biologischen Gewebes verstanden – genauer: als Gewebe

## 5. Begriffliche Orientierung (Nachschlage-Einstieg)

mit fehlreguliertem Wachstum. Hypoxie erscheint als Zustand des Sauerstoffmangels. Angiogenese beschreibt die Bildung neuer Blutgefäße. Ein Mitochondrium wiederum wird zunächst als Bestandteil einer Zelle eingeführt, der zentral an Energieproduktion und Stoffwechselregulation beteiligt ist.

**Warum diese Schreibweise verwendet wird** Wissenschaftliche Sprache leidet häufig darunter, dass Fachbegriffe stillschweigend vorausgesetzt werden. Leserinnen und Leser begegnen dann einer Kette unbekannter Wörter, deren Beziehungen untereinander unsichtbar bleiben.

Die semantische Rekonstruktion versucht deshalb, Begriffe nicht isoliert, sondern innerhalb eines Bedeutungsnetzes sichtbar zu machen. Man könnte sagen: Die Sprache soll nicht bloß beschreiben, sondern gleichzeitig Orientierung erzeugen.

Dadurch entsteht schrittweise eine Art semantische Topographie des biologischen Maschinenraums. Begriffe werden nicht einfach gesammelt, sondern entlang ihrer inneren Zusammenhänge aufgebaut.

Diese Idee besitzt eine gewisse Nähe zur Tradition logischer Propädeutik, wie sie etwa von Kamlah und Lorenzen vertreten wurde. Dort galt kontrollierte Begriffseinführung als Voraussetzung verständlicher wissenschaftlicher Kommunikation. Begriffe sollten möglichst nachvollziehbar eingeführt werden, anstatt sie einfach vorauszusetzen.

**Deriver-Stil als semantische Orientierung** Die verwendete Schreibweise erhebt keinen Anspruch auf vollständige wissenschaftliche Definitionen. Biologische Systeme sind dafür viel zu komplex. Die Rekonstruktionen dienen vielmehr als semantische Einstiegspunkte.

Sie sollen helfen: Zusammenhänge schneller zu erkennen, Fachbegriffe anschlussfähig zu machen und komplexe biologische Prozesse intuitiver lesbar werden zu lassen.

Gerade in der Krebsbiologie greifen Stoffwechsel, Immunologie, Zellkommunikation, Entzündungen, Energieversorgung und Umweltfaktoren tief ineinander. Ohne eine gewisse semantische Ordnung entsteht schnell der Eindruck chaotischer Fachsprachlandschaften. Die Rekonstruktionsschreibweise wirkt diesem Effekt bewusst entgegen.

**Der biologische Maschinenraum als Bedeutungslandschaft** Im Verlauf dieses Buches wird sichtbar werden, dass Krebs nicht auf einer einzigen Erklärungsebene verstanden werden kann. Gene, Stoffwechsel, Sauerstoffversorgung, Immunreaktionen, Ernährung, Entzündungen und mitochondriale Prozesse beeinflussen sich gegenseitig. Die verwendete Begriffssprache soll genau diese Mehrschichtigkeit sichtbar machen.

## 5. Begriffliche Orientierung (Nachschlage-Einstieg)

Der Organismus erscheint dadurch nicht als starre Maschine, sondern als lebendiges Gesamtsystem mit: Energiezentralen, Signträumen, Reparaturmechanismen, Versorgungssystemen, Notprogrammen und permanenten biologischen Anpassungsprozessen.

Die semantische Rekonstruktion dient dabei als eine Art Navigationshilfe innerhalb dieser komplexen biologischen Landschaft. Sie soll helfen, den biologischen Maschinenraum nicht nur technisch zu betrachten, sondern auch begrifflich besser zu verstehen.

Vielleicht liegt genau darin ihre eigentliche Stärke: Nicht bloß zusätzliche Fachbegriffe zu produzieren, sondern langsam eine Sprache aufzubauen, mit der sich die innere Ordnung biologischer Prozesse überhaupt erst sinnvoll denken lässt.

### Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels

- Begriffe sind Werkzeuge der Orientierung — kein Ersatz für ärztliche Diagnostik.
- Der Organismus lässt sich als dynamischer „Maschinenraum“ aus Stoffwechsel, Reparation und Regulation denken.
- Tumor, Hypoxie, Mitochondrium und Mikromilieu gehören zu einem gemeinsamen Bedeutungsnetz.
- Deriver-artige Kurzformeln helfen, Fachwörter schrittweise einzuordnen.
- Krebs wird im weiteren Verlauf als Störung biologischer Regulationsräume mitgedacht.
- Leserinnen und Leser müssen nicht alles sofort behalten — die Karte wächst mit den Kapiteln.

### Was Sie konkret tun können

*Orientierung und Selbstorganisation — keine medizinischen Anweisungen.*

- Markieren Sie unbekannte Begriffe beim Lesen und schlagen Sie sie im Glossar (Anhang) nach.
- Notieren Sie drei Fragen, die Sie Ihrer behandelnden Ärztin oder Ihrem Arzt stellen möchten.
- Trennen Sie bewusst: *Was ist medizinisch geklärt?* — *Was ist Forschung?* — *Was ist noch offen?*
- Legen Sie einen Ordner für Befunde an — auch wenn Sie noch keine Diagnose haben (Vorsorge).

## 6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen

### Ihr Nutzen

Nach diesem Kapitel wissen Sie ...

- Krebs als Stoffwechselkrankheit einordnen,
- chemische, infektiöse, strahlungs- und stressbezogene Einflüsse verstehen,
- epigenetische und Umweltzusammenhänge nachvollziehen.

### Wann ist das wichtig?

Nach der ersten Orientierung, wenn Sie Ursachen und Mechanismen vertiefen möchten.

### Was Sie sich merken sollten

- Viele Faktoren wirken zusammen — selten gibt es eine einzige Ursache.
- Verständnis ersetzt keine individuelle ärztliche Bewertung.

### Fragen für Ihren Arzt

- Welche Risikofaktoren sind in meinem Fall relevant?
- Was bedeutet “Stoffwechselperspektive” für meine Therapie *nicht*?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

### Sofort handeln, wenn ...

Kein Notfallkapitel.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

### Vertiefung

Praktische Diagnose- und Entscheidungsthemen stehen in Teil I.

## 6.1. Krebs als Stoffwechselkrankheit

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Glykolyse=Prozess(Zuckerabbau)

Zellatmung=Prozess(Sauerstoffenergie)

Metabolismus=Gesamtprozess(Stoffwechsel)

Mutation=Veränderung(Erbinformation)

Über viele Jahrzehnte wurde Krebs primär als genetische Erkrankung verstanden. Im Mittelpunkt standen Mutationen, beschädigte Gene und unkontrollierte Zellteilungen. Dieses Modell prägt die moderne Onkologie bis heute und bildet weiterhin eine wichtige Grundlage biologischer Krebsforschung. Gleichzeitig wächst jedoch die Zahl wissenschaftlicher Hinweise darauf, dass genetische Veränderungen allein nicht ausreichen, um die Entstehung und Dynamik von Krebs vollständig zu erklären. Immer stärker rücken deshalb Stoffwechselprozesse, mitochondriale Funktionen und energetische Regulationsmechanismen in den Mittelpunkt der Forschung (Seyfried, 2012; Warburg, 1956).

**Der Warburg-Effekt** Bereits der deutsche Biochemiker Otto Warburg beobachtete Anfang des 20. Jahrhunderts eine auffällige Besonderheit vieler Tumorzellen: Selbst unter ausreichender Sauerstoffversorgung verstoffwechseln sie Glukose bevorzugt über Glykolyse statt über die deutlich effizientere mitochondriale Zellatmung (Warburg, 1956). Dieses Phänomen wurde später als Warburg-Effekt bekannt und gilt bis heute als eines der zentralen metabolischen Merkmale zahlreicher Tumorarten.

Unter normalen Bedingungen gewinnen gesunde Zellen den Großteil ihrer Energie über die oxidative Phosphorylierung in den Mitochondrien. Dieser Prozess benötigt Sauerstoff und ermöglicht eine hoch effiziente ATP-Produktion. Krebszellen dagegen wechseln häufig in einen primitiveren, aber außerordentlich anpassungsfähigen Stoffwechselmodus. Sie verbrauchen große Mengen Glukose, produzieren verstärkt Laktat und verändern ihr gesamtes metabolisches Umfeld (Heiden u. a., 2009). Lange Zeit wurde diese Umstellung lediglich als Begleiterscheinung schnellen Tumorwachstums interpretiert. Heute wird zunehmend diskutiert, ob die metabolische Umprogrammierung selbst ein zentraler Motor der Krebsentstehung sein könnte.

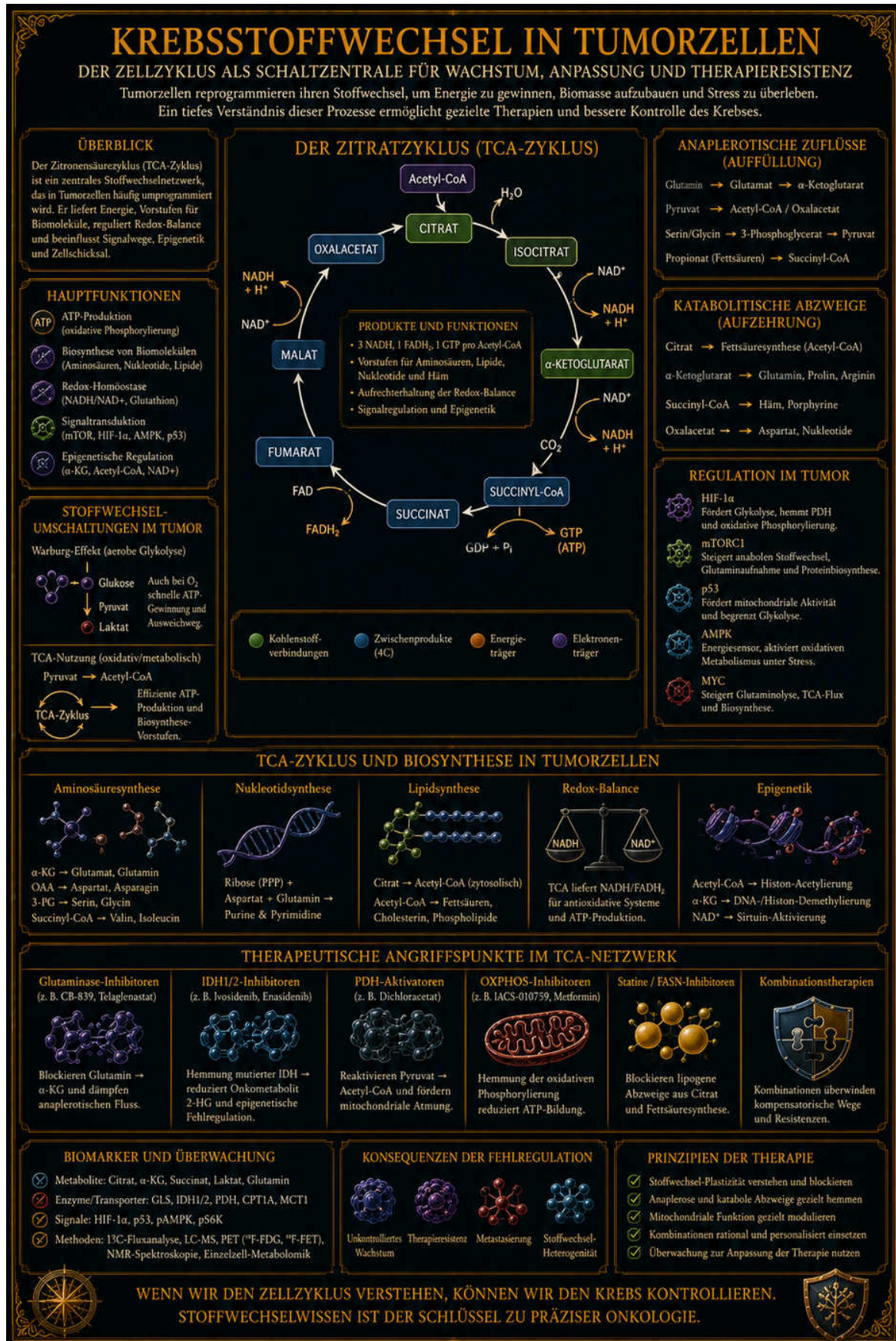


Abbildung 6.1.: Tumorzellen verändern ihre Energiegewinnung und entwickeln charakteristische metabolische Anpassungsmechanismen.

**Die Rolle der Mitochondrien** Besonders die Rolle der Mitochondrien hat in den vergangenen Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Mitochondrien sind weit mehr als bloße „Kraftwerke der Zelle“. Sie regulieren zentrale Prozesse der Zellatmung, der Energieproduktion, des oxidativen Gleichgewichts, der Calciumregulation sowie zahlreiche Mechanismen von Immunreaktion, Apoptose und zellulärer Signalverarbeitung. Gerät dieses fein abgestimmte System dauerhaft aus dem Gleichgewicht, können tiefgreifende Veränderungen biologischer Stabilität entstehen.

Einige Forscher vertreten deshalb die These, dass genetische Veränderungen in vielen Fällen sekundär aus vorangehenden metabolischen Dysfunktionen hervorgehen könnten. Chronische Entzündungen, Sauerstoffmangel, toxische Umweltbelastungen, Fehlernährung und mitochondriale Schädigungen werden dabei als mögliche Auslöser langfristiger Stoffwechselentgleisungen diskutiert (Seyfried, 2012; Hanahan, 2022).

**Metabolische Anpassungsfähigkeit von Tumoren** Tumoren entwickeln häufig hochgradig adaptive Stoffwechselsysteme. Krebszellen sind in der Lage, alternative Energiequellen zu nutzen, zwischen unterschiedlichen Stoffwechselwegen umzuschalten, Sauerstoffmangel zu tolerieren und sich metabolisch an therapeutische Belastungen anzupassen. Diese außergewöhnliche Flexibilität gilt heute als eine der wichtigsten Ursachen für Therapieresistenz und Tumorprogression (DeBerardinis u. a., 2008).

Besonders interessant ist dabei die enge Verbindung zwischen Ernährung, Insulinstoffwechsel und Tumorbilogie. Viele Krebsarten reagieren empfindlich auf Veränderungen der Glukoseverfügbarkeit sowie auf Insulin- und IGF-1-Signalwege. Gleichzeitig beeinflussen chronische Entzündungsprozesse, hormonelle Belastungen und metabolische Dysregulationen die biologische Umgebung von Tumoren erheblich. Dadurch rücken zunehmend Ernährungsformen wie ketogene Diäten, Fastenprotokolle oder metabolische Therapiekonzepte in den Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen.

**Krebs als systemische Regulationsstörung** Auch chronische Entzündungsprozesse spielen eine zentrale Rolle innerhalb metabolischer Krankheitsmodelle. Dauerhafte Aktivierung des Immunsystems, oxidativer Stress und entzündliche Mikroumgebungen können DNA-Schäden, Zellproliferation und metabolische Fehlregulationen fördern (Hanahan & Weinberg, 2011). Krebs entsteht daher möglicherweise weniger als isolierter Defekt einzelner Gene, sondern vielmehr als langfristige Destabilisierung komplexer biologischer Regulationssysteme.

Diese Perspektive verändert nicht nur das wissenschaftliche Verständnis von Krebs, sondern auch den Blick auf mögliche Präventions- und Therapieansätze. Ernährung, Bewegung, Schlaf, Stressregulation, Umweltfaktoren und Stoffwechselgesundheit erscheinen plötzlich nicht mehr als bloße Randaspekte, sondern als zentrale Einflussgrößen

biologischer Stabilität. Krebs wird dadurch zunehmend als systemische Stoffwechselerkrankung sichtbar – eingebettet in ein dynamisches Netzwerk aus Energieflüssen, Zellkommunikation und metabolischer Anpassung.

Die metabolische Perspektive ersetzt dabei nicht die Genetik, sondern erweitert sie. Krebs erscheint nicht mehr ausschließlich als „Krankheit der Gene“, sondern als komplexe Störung biologischer Energie- und Regulationsprozesse, in denen Genetik, Stoffwechsel, Umwelt und Lebensstil eng miteinander verflochten sind.

### 6.2. Krebsursache Chemikalien

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Umweltgift=Stoff(Umweltbelastung)

Entgiftung=Prozess(Schadstoffabbau)

Oxidationsstress=Stress(Oxidation)

Die moderne Industriegesellschaft ist von einer kaum noch überschaubaren Vielzahl chemischer Substanzen durchdrungen. Kunststoffe, Lösungsmittel, Pestizide, Schwermetalle, Weichmacher, Konservierungsmittel, Verbrennungsprodukte und industrielle Rückstände begleiten den Menschen heute nahezu permanent – in der Luft, im Wasser, in Nahrungsmitteln, Kosmetika, Verpackungen und Baustoffen. Viele dieser Stoffe gelten als biologisch weitgehend unproblematisch, andere stehen seit Jahrzehnten im Verdacht, Krebsentstehung und chronische Erkrankungen zu fördern (Hanahan & Weinberg, 2011).

**Die chemische Umwelt des modernen Menschen** Die Frage nach chemischen Krebsursachen gehört zu den zentralen Themen moderner Umweltmedizin. Bereits im 18. Jahrhundert fiel auf, dass bestimmte Berufsgruppen auffällig häufig an Tumorerkrankungen litten. Der englische Arzt Percivall Pott beschrieb beispielsweise gehäuft auftretenden Krebs bei Schornsteinfegern, der vermutlich durch langfristigen Kontakt mit Rußpartikeln verursacht wurde. Später folgten Erkenntnisse über die krebserzeugende Wirkung von Asbest, Benzol, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und zahlreichen industriellen Chemikalien.

Heute geht man davon aus, dass chemische Belastungen auf sehr unterschiedlichen biologischen Ebenen in die Krebsentstehung eingreifen können. Einige Stoffe verursachen direkte DNA-Schäden, andere beeinflussen Entzündungsprozesse, hormonelle Regelkreise oder die Funktion der Mitochondrien. Wieder andere verändern langfristig epigenetische Regulationsmechanismen oder verstärken chronischen oxidativen Stress (Feinberg, 2018).

## 6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen

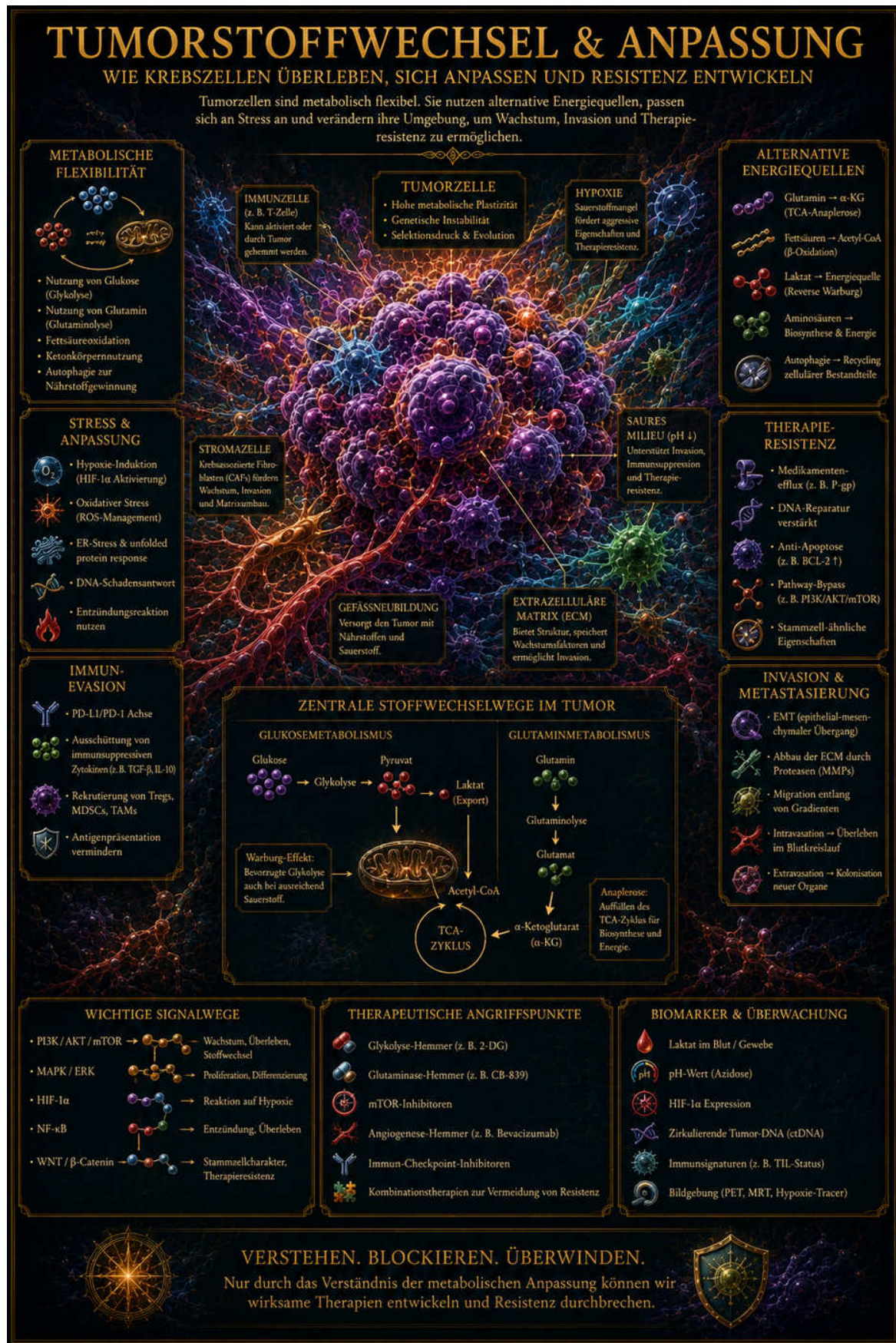


Abbildung 6.2.: Krebs entwickelt sich innerhalb dynamischer Netzwerke biologischer Anpassung, Energieorganisation und metabolischer Regulation.

## 6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen



Abbildung 6.3.: Die moderne Umwelt konfrontiert biologische Systeme permanent mit chemischen Belastungen, oxidativem Stress und regulatorischen Störungen.

## 6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen

Besonders problematisch erscheinen dabei Belastungen, die über lange Zeiträume hinweg in niedriger Konzentration aufgenommen werden. Während akute Vergiftungen meist schnell erkannt werden, wirken chronische Belastungen oft schleichend und bleiben über Jahre oder Jahrzehnte unbemerkt. Viele toxische Einflüsse destabilisieren langsam die biologischen Regulationssysteme des Körpers. Dadurch entstehen Bedingungen, unter denen Reparaturmechanismen, Immunüberwachung und Zellstoffwechsel zunehmend an ihre Belastungsgrenzen geraten.

**Mitochondrien unter Dauerbelastung** Von besonderem Interesse ist dabei die Wirkung chemischer Stoffe auf die mitochondriale Zellatmung. Zahlreiche Umweltgifte beeinflussen direkt oder indirekt die Funktion der Mitochondrien. Schwermetalle wie Quecksilber oder Cadmium können Enzymsysteme der oxidativen Phosphorylierung hemmen und die Bildung freier Radikale fördern. Gleichzeitig erhöhen viele chemische Belastungen oxidativen Stress und entzündliche Prozesse, wodurch DNA-Schäden, Zellinstabilität und metabolische Dysregulationen begünstigt werden.

Gerade aus metabolischer Perspektive wird zunehmend deutlich, dass Krebs möglicherweise nicht allein aus isolierten genetischen Veränderungen hervorgeht, sondern häufig innerhalb langfristig gestörter Energie- und Regulationssysteme entsteht. Chronische chemische Belastungen könnten daher weniger als unmittelbare Einzelursache wirken, sondern vielmehr als dauerhafte Destabilisierung biologischer Anpassungsmechanismen.

**Endokrine Disruptoren und hormonelle Signalräume** Ein weiterer wichtiger Aspekt betrifft sogenannte endokrine Disruptoren. Hierbei handelt es sich um chemische Substanzen, die hormonähnliche Wirkungen entfalten oder natürliche hormonelle Signalwege beeinflussen können. Beispiele hierfür sind Bisphenol A, bestimmte Pestizide oder Phthalate aus Kunststoffen. Da Hormonsysteme eine zentrale Rolle bei Zellwachstum, Differenzierung und Immunregulation spielen, werden solche Stoffe insbesondere mit hormonabhängigen Krebsarten wie Brust-, Eierstock- oder Prostatakrebs in Verbindung gebracht.

Die besondere Problematik hormoneller Störungen liegt darin, dass bereits sehr geringe Konzentrationen biologisch relevante Auswirkungen besitzen können. Gleichzeitig wirken viele dieser Stoffe nicht isoliert, sondern innerhalb komplexer Mischbelastungen. Der menschliche Organismus ist heute selten nur einem einzelnen Schadstoff ausgesetzt, sondern einer Vielzahl chemischer Einflüsse gleichzeitig. Welche langfristigen Wechselwirkungen dabei zwischen Umweltgiften, Ernährung, Stress, Entzündungen und Stoffwechsel entstehen, ist bis heute nur teilweise verstanden.

**Chronische Entzündung als biologisches Milieu** Viele chemische Belastungen führen langfristig zu einer dauerhaften Aktivierung entzündlicher Prozesse. Entzündungsmediatoren, freie Sauerstoffradikale und gestörte Geweberegeneration können

## 6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen

über Jahre hinweg ein biologisches Milieu erzeugen, das Tumorentwicklung begünstigt (Hanahan & Weinberg, 2011). Krebs erscheint dadurch zunehmend weniger als isolierter Defekt einzelner Gene, sondern vielmehr als Ergebnis langfristiger Störungen komplexer Regulations- und Reparatursysteme.

Parallel dazu wächst die Bedeutung präventiver Strategien. Schadstoffarme Ernährung, die Reduktion chronischer Umweltbelastungen, Schutz vor Schadstoffen am Arbeitsplatz sowie die Unterstützung körpereigener Entgiftungs- und Reparaturmechanismen gewinnen zunehmend an Bedeutung. Auch sekundäre Pflanzenstoffe wie Flavonoide, Sulforaphan oder Polyphenole werden intensiv darauf untersucht, ob sie antioxidative und zellschützende Eigenschaften besitzen.

Die Diskussion über chemische Krebsursachen berührt damit nicht nur einzelne Giftstoffe, sondern grundsätzliche Fragen moderner Lebensweise. Krebs entsteht möglicherweise nicht allein durch isolierte „Krebserreger“, sondern häufig durch die langfristige Überforderung biologischer Stabilitätssysteme innerhalb einer hochkomplexen chemischen Umwelt. Gerade deshalb rücken Stoffwechselgesundheit, Entzündungsregulation und mitochondriale Stabilität immer stärker in den Mittelpunkt moderner Krebsforschung.

### 6.3. Krebsursache Viren, Bakterien und Mikroparasiten

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Infektion=Eindringen(Krankheitserreger)

Mikrobiom=Gemeinschaft(Mikroorganismen)

Entzündung=Reaktion(Gewebeschaden)

ChronischeInfektion=Infektion(Dauerbelastung)

Lange Zeit galt Krebs primär als Folge genetischer Schäden, chemischer Belastungen oder zufälliger Zellmutationen. Erst allmählich wurde deutlich, dass auch infektiöse Prozesse eine bedeutende Rolle bei der Entstehung bestimmter Tumorerkrankungen spielen können. Heute geht die Weltgesundheitsorganisation davon aus, dass weltweit ein erheblicher Anteil aller Krebserkrankungen direkt oder indirekt mit chronischen Infektionen zusammenhängt.

(Siehe Abb. 2.3, Seite 32.)

**Onkogene Viren** Besonders intensiv untersucht wurden sogenannte onkogene Viren. Hierzu zählen unter anderem humane Papillomviren (HPV), Hepatitis-B- und Hepatitis-C-Viren, das Epstein-Barr-Virus sowie bestimmte Herpesviren. Diese Erreger besitzen die Fähigkeit, tief in zelluläre Regulationsprozesse einzugreifen. Einige integrieren

## 6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen



Abbildung 6.4.: Entgiftungs- und Reparatursysteme gehören zu den zentralen biologischen Schutzmechanismen gegenüber chronischen Umweltbelastungen.

## 6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen

ihr genetisches Material direkt in das Erbgut der Wirtszellen, andere beeinflussen Signalwege, Zellteilung oder Immunreaktionen.

Besonders bekannt ist der Zusammenhang zwischen HPV-Infektionen und Gebärmutterhalskrebs. Inzwischen werden jedoch auch Tumoren im Mund-, Rachen- und Genitalbereich zunehmend mit chronischen Virusinfektionen in Verbindung gebracht. Virale Prozesse wirken dabei selten wie ein einzelner unmittelbarer „Auslöser“. Häufig entstehen vielmehr langfristige biologische Veränderungen, innerhalb derer chronische Entzündungen, dauerhafte Immunaktivierung und gestörte Zellreparaturmechanismen über Jahre hinweg Bedingungen schaffen, unter denen Tumorzellen entstehen können. Krebs erscheint dadurch erneut weniger als isoliertes Ereignis, sondern vielmehr als Ergebnis komplexer systemischer Destabilisierung biologischer Regulationsräume.

**Bakterien und chronische Entzündung** Auch Bakterien spielen eine wesentlich größere Rolle als lange angenommen. Besonders intensiv untersucht wurde das Magenbakterium *Helicobacter pylori*, das chronische Entzündungen der Magenschleimhaut verursachen kann und heute als bedeutender Risikofaktor für Magenkrebs gilt.

Dauerhafte bakterielle Infektionen erzeugen häufig ein entzündliches Mikromilieu mit erhöhtem oxidativem Stress, verstärkter Zellregeneration und gestörter Immunbalance. Genau diese Bedingungen können langfristig DNA-Schäden, epigenetische Veränderungen und unkontrolliertes Zellwachstum begünstigen.

**Das Mikrobiom als Regulationssystem** Darüber hinaus wächst das wissenschaftliche Interesse am menschlichen Mikrobiom. Der Darm beherbergt Billionen von Mikroorganismen, die nicht nur Verdauung und Immunabwehr beeinflussen, sondern offenbar auch Stoffwechsel, Entzündungsregulation und Krebsrisiken mitbestimmen. Veränderungen der Darmflora stehen zunehmend im Verdacht, chronische Entzündungen, metabolische Dysregulationen und immunologische Fehlsteuerungen zu fördern.

Besonders Darmkrebs, aber möglicherweise auch andere Tumorarten könnten mit langfristigen Veränderungen mikrobieller Gleichgewichte zusammenhängen. Das Mikrobiom erscheint dadurch immer weniger als bloßer „Mitbewohner“ des Organismus, sondern vielmehr als hochdynamisches biologisches Regulationssystem mit tiefgreifendem Einfluss auf Stoffwechsel und Immunologie.

# DAS MIKROBIOM UND DIE DARMFLORA

## DIE VERGESSENE SCHALTZENTRALE IN DER KREBSSENTSTEHUNG UND -THERAPIE

Milliarden Mikroorganismen leben in Symbiose mit uns. Sie beeinflussen Entzündung, Immunantwort, Stoffwechsel, Hormonhaushalt, Entgiftung und sogar unsere Stimmung – und können Krebs fördern oder schützen.

### AUFGABEN DES MIKROBIOMS

- Verdauung komplexer Nahrungsbestandteile (Ballaststoffe, resistente Stärke)
- Produktion kurzkettiger Fettsäuren (SCFAs) wie Butyrat, Propionat, Acetat
- Stärkung der Darmbarriere und Schleimhautschicht
- Regulation des Immunsystems (Toleranz vs. Abwehr)
- Entgiftung und Abbau von Schadstoffen
- Synthese von Vitaminen (z. B. K, B12, Folat)
- Beeinflussung von Neurotransmittern (Serotonin, GABA, Dopamin)
- Schutz vor pathogenen Keimen durch Kolonisationsresistenz

### DAS DARMSÖKOSYSTEM – EIN KOMPLEXES LEBENSNETZ

Unser Darm beherbergt >100 Billionen Mikroorganismen mit >3 Millionen Genen. Sie bilden ein dynamisches Ökosystem, das mit jeder Zelle unseres Körpers kommuniziert.

### EUBIOSE vs. DYSBIOSE

**EUBIOSE (GESUND)**

- Hohe Diversität
- Viele nützliche Bakterienstämme
- Stabile Darmbarriere
- Geringe Entzündung
- Effiziente Stoffwechselprozesse
- Starke Immunregulation

vs.

**DYSBIOSE (GESTÖRT)**

- Geringe Diversität
- Überwucherung pathogener Keime
- Erhöhte Darmpermeabilität
- Chronische Entzündung
- Toxische Metabolite
- Immundysregulation

### SCHLÜSSEL-METABOLITE

- BUTYRAT**  
Entzündungshemmend, nährt Darmzellen, Tumorsuppressor
- PROPIONAT**  
Beeinflusst Glukoneogenese, Appetit und Immunantwort
- ACETAT**  
Energiequelle, reguliert Cholesterin und Fettstoffwechsel
- INDOLE & POLYPHENOLE**  
Modulieren AhR-Rezeptor, entgiften, schützen DNA
- SEKUNDÄRE GALLENÄUREN**  
Können DNA schädigen oder – in Balance – die Verdauung unterstützen

### EIN GESUNDES MIKROBIOM = RESILIENZ UND SCHUTZ EINE DYSBIOSE = ENTZÜNDUNG UND KRANKHEIT

### DYSBIOSE UND KREBSRISIKO

- Fördert chronische Entzündung (z. B. IL-6, TNF-α, CRP)
- Erhöht DNA-Schäden durch toxische Metabolite
- Unterstützt Tumorwachstum und Angiogenese
- Beeinflusst Immunüberwachung negativ
- Korrelation mit Darmkrebs, Pankreas-, Leber-, Brust- und Prostatakrebs

### FREUNDLICHE BAKTERIEN (BEISPIELE)

Butyrat-Produktion    Schleimhautstärkung    Immunmodulation    Pathogenschutz

### NEUTRALE / OPPORTUNISTEN

In Balance nützlich – bei Dysbiose problematisch

### POTENZIELL SCHÄDLICHE BAKTERIEN

Entzündung – Toxinbildung – Barrierschädigung – Tumorförderung

### FÖRDERLICH

- Ballaststoffreiche, pflanzenbasierte Ernährung
- Fermentierte Lebensmittel (z. B. Sauerkraut, Kimchi)
- Präbiotika (z. B. Inulin, resistente Stärke)
- Polyphenole (z. B. Beeren, Grüntee, Kakao)
- Regelmäßige Bewegung
- Ausreichend Schlaf und Stressreduktion
- Zeit in der Natur und soziale Kontakte

### WAS BEEINFLUSST UNSER MIKROBIOM?

### SCHÄDLICH

- Antibiotika (breit und häufig)
- Zuckerreiche und hochverarbeitete Nahrung
- Künstliche Süßstoffe und Emulgatoren
- Chronischer Stress
- Umweltgifte, Schwermetalle, Pestizide
- Alkohol und Rauchen
- Bewegungsmangel

### MIKROBIOM UND THERAPIEERFOLG

Ein gesundes Mikrobiom verbessert die Wirksamkeit von Krebs-Therapien und reduziert Nebenwirkungen.

### DIE KOMMUNIKATION AXISE DARM – KÖRPER – GEHIRN

### KERNBOTSCHAFT

Ein vielfältiges, stabiles Mikrobiom ist ein mächtiger Schutzschild gegen Krebs. Wir können es jeden Tag neu aufbauen – mit der richtigen Ernährung, Lebensweise und gezielten Strategien.

**EIN GESUNDER DARMS – EIN STARKER SCHUTZ. PFLEGE DEIN MIKROBIOM – PFLEGE DEIN LEBEN.**

Das Mikrobiom und die Darmflora

**Infektion, Stoffwechsel und mitochondriale Belastung** Besonders interessant ist die enge Verbindung zwischen Infektionen, Entzündung und Stoffwechsel. Chronische Infektionsprozesse verändern häufig die mitochondriale Funktion, den Energieverbrauch der Zellen sowie die Regulation des Immunsystems. Dauerhafte Aktivierung von Immunzellen erzeugt oxidativen Stress und verändert das metabolische Gleichgewicht des Gewebes. Dadurch entstehen mikroskopische Umgebungen, die Tumorentwicklung begünstigen können.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Fähigkeit vieler Tumoren, entzündliche und immunologische Mechanismen aktiv für ihr eigenes Wachstum zu nutzen. Krebszellen kommunizieren kontinuierlich mit Immunzellen, Botenstoffen und mikrobiellen Einflüssen ihrer Umgebung. Das Tumormikromilieu wird dadurch zu einem hochdynamischen biologischen Ökosystem aus Stoffwechselprozessen, Immunreaktionen und zellulären Anpassungsstrategien (Hanahan, 2022).

**Neue Perspektiven der Prävention** Die Erkenntnis, dass Infektionen an Krebsentstehung beteiligt sein können, eröffnet zugleich neue therapeutische Möglichkeiten. Impfstoffe gegen HPV oder Hepatitis-B-Viren zeigen bereits heute, dass bestimmte Krebsarten durch präventive Immunisierung teilweise verhindert werden können. Gleichzeitig gewinnen immunologische Therapien und mikrobiombasierte Ansätze zunehmend an Bedeutung.

Aus metabolischer Perspektive wird dadurch sichtbar, dass Krebs nicht isoliert innerhalb einzelner Zellen entsteht. Vielmehr entwickelt sich Tumorbilogie häufig im Spannungsfeld zwischen Immunsystem, chronischer Entzündung, mikrobiellen Einflüssen, Stoffwechsel und langfristiger biologischer Anpassung. Viren, Bakterien und Mikroparasiten wirken dabei nicht allein als äußere „Feinde“, sondern häufig als Mitgestalter komplexer biologischer Regulationsprozesse, deren langfristige Destabilisierung schließlich in Tumorentwicklung münden kann.

### 6.4. Krebsursache ionisierende Strahlung

**Neue Begriffe dieses Abschnitts**

Ionisationsstrahlung=Strahlung(Ionisation)

DNA-Schaden=Schaden(Erbinformation)

Strahlentherapie=Therapie(Tumorbestrahlung)

Radiologie=Lehre(Strahlenanwendung)

Strahlung gehört zu den unsichtbaren Umweltfaktoren, die tief in die biologischen Strukturen des menschlichen Körpers eingreifen können. Besonders ionisierende Strahlung



Abbildung 6.5.: Mikrobielle Kommunikationsnetzwerke beeinflussen Stoffwechsel, Immunreaktionen und langfristige biologische Stabilität.

## 6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen

besitzt die Fähigkeit, Atome und Moleküle direkt zu verändern und dadurch empfindliche zelluläre Prozesse zu stören. Bereits kurz nach der Entdeckung der Röntgenstrahlung und der Radioaktivität Anfang des 20. Jahrhunderts wurden erste Hinweise auf ihre gesundheitlichen Risiken sichtbar. Wissenschaftler, Ärzte und Techniker, die damals oft nahezu schutzlos mit radioaktiven Stoffen arbeiteten, entwickelten auffällig häufig Hautschäden, Leukämien und andere Tumorerkrankungen.

**Wenn biologische Ordnung unter Beschuss gerät** Heute gilt ionisierende Strahlung als einer der am besten untersuchten physikalischen Krebsfaktoren überhaupt. Zu ihr zählen unter anderem Röntgenstrahlung, radioaktive Zerfallsstrahlung, kosmische Strahlung sowie hochenergetische Teilchenstrahlung. Diese Strahlungsformen besitzen genügend Energie, um chemische Bindungen innerhalb biologischer Moleküle aufzubrechen. Besonders empfindlich reagiert dabei die DNA, deren Doppelstränge durch ionisierende Prozesse beschädigt werden können.

Man könnte sagen: Strahlung wirkt wie ein unsichtbarer Hagel aus mikroskopischen Einschlägen, der permanent gegen die empfindlichen Leitungssysteme des inneren Maschinenraums schlägt. Die Reparaturkolonnen der Zelle versuchen zwar kontinuierlich, beschädigte Bereiche auszubessern und die Ordnung aufrechtzuerhalten. Doch je stärker oder länger die Belastung anhält, desto größer wird die Gefahr, dass einzelne Schäden unbemerkt bleiben und sich allmählich zu dauerhaften Fehlfunktionen verdichten.

**Oxidativer Stress und mitochondriale Belastung** Die Wirkung von Strahlung beschränkt sich dabei nicht allein auf direkte DNA-Schäden. Moderne radiobiologische Forschung zeigt zunehmend, dass ionisierende Strahlung auch mitochondriale Funktionen, Zellmembranen, Immunreaktionen, Entzündungsprozesse und metabolische Regulationssysteme beeinflussen kann. Besonders oxidativer Stress spielt dabei eine zentrale Rolle.

Durch Strahlung entstehen hochreaktive Sauerstoffverbindungen – sogenannte freie Radikale – die Proteine, Lipide und Zellstrukturen angreifen können. Die Mitochondrien reagieren auf solche Belastungen besonders empfindlich. Da sie selbst zentrale Orte oxidativer Prozesse darstellen, können strahlenbedingte Schäden die Energieproduktion der Zellen langfristig destabilisieren.

Einige Forscher vermuten deshalb, dass genau diese mitochondriale Dysfunktion eine wichtige Verbindung zwischen Strahlenbelastung, chronischer Entzündung und Tumorentwicklung darstellen könnte. Der Organismus gerät dabei zunehmend in einen Zustand biologischer Dauerreparatur, innerhalb dessen Energieversorgung, Zellatmung und Immunregulation immer stärker improvisieren müssen.

**Von Hiroshima bis Tschernobyl** Besondere Aufmerksamkeit erhielt dieses Thema nach den Atombombenabwürfen auf Hiroshima und Nagasaki sowie später nach

## 6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen

Reaktorunfällen wie Tschernobyl und Fukushima. Langfristige epidemiologische Untersuchungen zeigten erhöhte Raten bestimmter Krebsarten, insbesondere Leukämien und Schilddrüsenkarzinome. Gleichzeitig machten diese Ereignisse deutlich, wie komplex die biologischen Folgen chronischer Niedrigdosisbelastungen sein können.

Gerade die Reaktorkatastrophen des 20. Jahrhunderts wirkten wie gigantische unfreiwillige Langzeitexperimente an ganzen Bevölkerungen. Sie machten sichtbar, dass Strahlung nicht einfach nur einzelne Moleküle beschädigt, sondern ganze biologische Infrastrukturen unter Dauerstress setzen kann – ähnlich einem Kraftwerk, dessen Kühlsysteme und Regelkreise über lange Zeit immer instabiler werden.

**Die Ambivalenz medizinischer Strahlung** Auch medizinische Anwendungen von Strahlung bilden ein ambivalentes Feld. Einerseits gehört die Strahlentherapie heute zu den wichtigsten Verfahren moderner Krebsbehandlung. Hochenergetische Bestrahlung kann Tumorzellen gezielt schädigen und deren Wachstum hemmen. Andererseits erhöht jede zusätzliche Strahlenexposition potenziell das Risiko sekundärer Zellschäden. Moderne Bestrahlungsverfahren versuchen deshalb, Tumorgewebe möglichst präzise zu treffen und gesundes Gewebe weitgehend zu schonen.

Neben ionisierender Strahlung werden inzwischen auch mögliche biologische Wirkungen nichtionisierender elektromagnetischer Felder diskutiert, etwa im Zusammenhang mit Mobilfunk, Hochspannungsleitungen oder chronischer technischer Strahlenexposition. Die wissenschaftliche Datenlage hierzu bleibt allerdings deutlich kontroverser und weniger eindeutig als bei klassischer radioaktiver Strahlung.

**Biologische Widerstandsfähigkeit** Aus metabolischer Sicht erscheint besonders interessant, dass Strahlung nicht nur einzelne Moleküle schädigt, sondern ganze Regulationssysteme beeinflussen kann. Chronische Entzündungen, oxidativer Stress, gestörte Zellatmung und mitochondriale Fehlfunktionen bilden häufig ein biologisches Umfeld, das langfristig Tumorentwicklung begünstigen könnte.

Gleichzeitig verfügt der menschliche Organismus über bemerkenswerte Schutz- und Reparaturmechanismen. Antioxidative Systeme, DNA-Reparaturenzyme, Immunüberwachung und zelluläre Regenerationsprozesse arbeiten kontinuierlich daran, strahlenbedingte Schäden zu begrenzen. Ernährung, Schlaf, Stoffwechselgesundheit und regenerative Stabilität könnten daher eine wichtige Rolle dabei spielen, wie widerstandsfähig biologische Systeme gegenüber chronischen Belastungen bleiben.

Die Diskussion um Strahlung zeigt damit exemplarisch, wie eng Umweltfaktoren, Stoffwechsel, Zellregulation und Krebsentstehung miteinander verbunden sind. Strahlung wirkt nicht isoliert, sondern trifft auf komplexe biologische Systeme, deren Stabilität von Ernährung, Entzündungsstatus, mitochondrialer Funktion und individueller Anpassungsfähigkeit mitbestimmt wird.

## 6.5. Krebsursache Stress

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Stress=Zustand(Ueberlastung)

Cortisol=Hormon(Stressreaktion)

Psyche=Bereich(Seelisches)

Regeneration=Wiederherstellung(Belastung)

Stress gehört zu den am häufigsten diskutierten, zugleich aber auch am schwersten einzuordnenden Einflussfaktoren moderner Erkrankungen. Kaum ein anderer Begriff verbindet psychische, neurologische, hormonelle und stoffwechselbezogene Prozesse in vergleichbarer Weise. Während akuter Stress biologisch zunächst eine sinnvolle Überlebensreaktion darstellt, kann chronischer Stress tiefgreifende Auswirkungen auf Immunsystem, Stoffwechsel, Entzündungsregulation und Zellgesundheit besitzen (Sapolsky, 2004).

**Der Organismus im Daueralarm** Der menschliche Organismus ist evolutionär darauf ausgelegt, kurzfristige Belastungssituationen zu bewältigen. In Gefahrensituationen aktiviert der Körper komplexe neuroendokrine Stressprogramme. Hormone wie Adrenalin, Noradrenalin und Cortisol erhöhen Puls, Blutdruck und Energiebereitstellung. Glukose wird mobilisiert, Entzündungsreaktionen verändert und Stoffwechselprozesse umgestellt. Kurzfristig erhöht dies die Überlebensfähigkeit des Organismus erheblich. Problematisch wird Stress jedoch dann, wenn diese biologischen Alarmprogramme dauerhaft aktiviert bleiben. Chronischer psychischer Druck, Schlafmangel, soziale Isolation, Existenzängste oder anhaltende emotionale Belastungen führen häufig dazu, dass der innere Leitstand des Organismus praktisch nie mehr vollständig herunterfährt. Der Körper arbeitet dann wie ein Kraftwerk im permanenten Ausnahmebetrieb: Turbinen laufen unter Volllast, Kühlkreisläufe geraten unter Druck und die Reparaturbrigaden kommen kaum noch hinterher.

Gerade dadurch entstehen langfristige Veränderungen hormoneller und metabolischer Regulationssysteme. Cortisolspiegel bleiben dauerhaft erhöht, entzündliche Prozesse werden chronisch aktiviert, Immunfunktionen verändern sich und der Zuckerstoffwechsel gerät zunehmend aus dem Gleichgewicht. Gleichzeitig steigt oxidativer Stress, während mitochondriale Anpassungsmechanismen immer stärker belastet werden.

**Stress und Stoffwechsel** Besonders interessant ist die enge Verbindung zwischen Stress und Stoffwechsel. Chronische Stressreaktionen verändern den Insulinhaushalt,

## 6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen

erhöhen häufig den Blutzuckerspiegel und fördern entzündliche Stoffwechselbedingungen. Gleichzeitig beeinflussen Stresshormone zahlreiche Signalwege, die Zellwachstum, Immunüberwachung und Regeneration regulieren.

Dauerstress erzeugt dadurch ein biologisches Umfeld, in dem metabolische Stabilität zunehmend verloren geht. Der Organismus befindet sich gewissermaßen in einem permanenten energetischen Umrüstungsmodus, bei dem Ressourcen ständig mobilisiert werden, ohne dass ausreichende Regenerationsphasen stattfinden.

**Mitochondrien unter psychischer Belastung** Auch die Mitochondrien reagieren empfindlich auf chronische Stresszustände. Neuere Forschungen zeigen, dass psychischer Stress direkt die mitochondriale Funktion beeinflussen kann. Dauerhafte Aktivierung biologischer Stressachsen erhöht oxidativen Stress, verändert die Energieproduktion der Zellen und beeinträchtigt langfristig die Anpassungsfähigkeit biologischer Systeme. Einige Wissenschaftler sprechen inzwischen sogar von einer „mitochondrialen Erschöpfung“ chronisch belasteter Organismen. Der innere Maschinenraum arbeitet dann zwar äußerlich weiter, doch tief im System beginnen Leitungen heißzulaufen, Wartungszyklen werden verkürzt und immer mehr Reparaturen erfolgen nur noch provisorisch.

**Stress und Immunsystem** Gleichzeitig beeinflusst Stress das Immunsystem auf komplexe Weise. Kurzfristig kann akuter Stress bestimmte Immunreaktionen sogar verstärken. Chronischer Stress dagegen führt häufig zu immunologischer Dysbalance. Natürliche Killerzellen, T-Zell-Aktivität und entzündungsregulierende Prozesse können beeinträchtigt werden. Dadurch sinkt möglicherweise die Fähigkeit des Organismus, entartete Zellen frühzeitig zu erkennen und zu kontrollieren.

Besonders in der Krebsmedizin wird deshalb intensiv untersucht, wie psychische Belastungen den Verlauf bestehender Tumorerkrankungen beeinflussen könnten. Zwar existieren keine einfachen Modelle nach dem Motto „Stress verursacht direkt Krebs“, doch zahlreiche Studien zeigen Zusammenhänge zwischen chronischem Stress, Entzündung, Immunsuppression und Tumorprogression.

Krebs entsteht vermutlich nicht aus einzelnen Emotionen heraus, sondern innerhalb komplexer biologischer Netzwerke, in denen psychische, hormonelle und metabolische Prozesse eng miteinander verflochten sind.

**Die überreizte Gesellschaft** Hinzu kommt ein gesellschaftlicher Faktor. Moderne Lebenswelten erzeugen häufig dauerhafte Reizüberflutung, Zeitdruck, Schlafmangel und chronische Aktivierung. Viele Menschen befinden sich biologisch in einem permanenten Alarmzustand, ohne ausreichende Regenerationsphasen. Der Organismus verliert dadurch zunehmend die Fähigkeit, sauber zwischen Belastung und Erholung umzuschalten.

## 6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen

Gerade mitochondriale Prozesse, Entzündungsregulation und hormonelle Balance reagieren auf solche chronischen Dysregulationen besonders sensibel. Man könnte sagen: Der moderne Mensch lebt häufig wie eine Industrieanlage, die nie vollständig heruntergefahren wird. Irgendwann beginnt dann selbst die robusteste Infrastruktur instabil zu werden.

(Siehe Abb. 3.1, Seite 60.)

**Biologische Stabilität statt Dauerüberlastung** Interessanterweise zeigen zahlreiche Untersuchungen, dass Bewegung, Schlaf, soziale Stabilität, Meditation, Naturkontakt und emotionale Unterstützung positive Effekte auf Stressregulation und Stoffwechsel besitzen können. Diese Faktoren beeinflussen nicht nur das subjektive Wohlbefinden, sondern greifen direkt in neuroimmunologische und metabolische Prozesse ein.

Gesundheit erscheint dadurch zunehmend als dynamisches Gleichgewicht biologischer Regulationssysteme. Aus metabolischer Perspektive wird Stress damit zu weit mehr als einem rein psychologischen Phänomen. Chronischer Stress verändert Energieflüsse, Hormonachsen, Entzündungsprozesse und mitochondriale Funktionen. Er wirkt auf das gesamte biologische Netzwerk des Organismus ein und kann langfristig Bedingungen schaffen, unter denen Zellstabilität, Reparaturmechanismen und Immunüberwachung zunehmend geschwächt werden.

Krebs entsteht dabei nicht einfach „durch Stress“, sondern möglicherweise innerhalb eines komplexen biologischen Milieus chronischer Überlastung. Stress wird dadurch zu einem wichtigen Bestandteil jener systemischen Faktoren, die metabolische Stabilität und zelluläre Ordnung langfristig beeinflussen.

### 6.6. Epigenetik und Umwelt

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Genregulation=Prozess(Genschaltung)

Umweltfaktor=Einfluss(Lebensumfeld)

Methylierung=Prozess(Gensperrung)

BiologischeStabilitaet=Zustand(Ordnung)

Lange Zeit galt das menschliche Erbgut als weitgehend starres biologisches Programm. Gene erschienen wie unveränderliche Baupläne, die den Organismus von Geburt an festlegen. Doch moderne Forschung zeigt zunehmend, dass zwischen genetischer Information und tatsächlicher biologischer Aktivität eine hochdynamische Regulationsschicht existiert: die Epigenetik.

## *6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen*

Epigenetische Prozesse entscheiden darüber, welche Gene aktiv oder inaktiv sind, welche Zellprogramme gestartet werden und wie flexibel biologische Systeme auf Umweltbedingungen reagieren können. Der Organismus arbeitet dabei weniger wie eine starre Maschine, sondern eher wie ein riesiger Leitstand mit unzähligen Schaltern, Reglern und Rückkopplungssystemen, die permanent auf Ernährung, Stress, Umweltgifte, Entzündungen und Stoffwechselzustände reagieren.

# EPIGENETIK UND GENREGULATION

DIE DYNAMISCHE STEUERUNG UNSERER GENETISCHEN INFORMATION

Die Epigenetik beschreibt vererbare, aber reversible Veränderungen der Genaktivität, die ohne Veränderung der DNA-Sequenz entstehen. Sie entscheidet, welche Gene aktiv sind, welche stillgelegt werden und wie Zellen auf ihre Umwelt reagieren.

## MECHANISMEN DER EPIGENETISCHEN STEUERUNG

### DNA-METHYlierUNG

Methylgruppen werden an Cytosin-Basen angehängt und vermindern die Aktivität vieler Gene.



### HISTON-MODIFIKATION

Acetylierung, Methylierung, Phosphorylierung u.a. verändern die Struktur der Histone und damit die Genaktivität.



### CHROMATIN-REMODELING

Spezielle Proteinkomplexe verschieben, entfernen oder ersetzen Histone und verändern die Zugänglichkeit der DNA.



### NON-CODING RNAs

MikroRNAs und lncRNAs steuern Gene, indem sie mRNA blockieren oder Chromatinstrukturen verändern.



### EPIGENETISCHE PLASTIZITÄT

Epigenetische Muster sind dynamisch und können sich an Umweltbedingungen anpassen – manchmal dauerhaft.



### EPIGENETIK UND KREBS

Krebszellen nutzen epigenetische Veränderungen, um Wachstumsgene zu aktivieren und Tumorsuppressorgene stillzulegen.

### ONKOGENE AKTIVIERUNG

Durch Demethylierung oder aktivierende Histonmodifikationen werden wachstumsfördernde Gene überaktiv.

### TUMORSUPPRESSOR-GENE STILLLEGUNG

Durch Methylierung oder repressive Histonmodifikationen werden schützende Gene abgeschaltet.

### EPIGENETISCHE THERAPIEN

Medikamente können epigenetische Veränderungen rückgängig machen und neue therapeutische Wege öffnen.



**AKTIVE GENREGION**  
offenes Chromatin  
Zugänglich für Transkriptionsfaktoren

**CHROMATIN DYNAMIK**  
Locker ↔ Dicht  
Aktiv ↔ Inaktiv

**DNA HISTON MODIFIKATIONEN**  
Bestimmen die Zugänglichkeit des Chromatins

**METHYlierUNG**  
Cytosin-Methylierung (5mC) führt meist zur Abschaltung von Genen

**GEN AKTIVIERUNG**  
Wenn regulatorische Signale ein Gen "einschalten"

**GEN STILLLEGUNG**  
Wenn Chromatin verdichtet oder Gene methyliert werden

**ZELLKERN**  
Das epigenetische Kontrollzentrum der Zelle – hier entscheidet sich Schicksal und Funktion

## EINFLÜSSE AUF DAS EPIGENOM

Unsere Umwelt schreibt mit – ständig.



## VON SIGNAL ZU GENANTWORT

So gelangen äußere Reize in den Zellkern.



## DER HISTON-CODE

Die Kombination verschiedener Modifikationen bestimmt das Schicksal eines Gens.



## EPIGENETISCHE ERINNERUNG

Epigenetische Markierungen können nach Zellteilung erhalten bleiben.



## DIE EPIGENETISCHE LANDSCHAFT

Ein dynamisches Zusammenspiel bestimmt Zellidentität, Funktion und Gesundheit.



## DIE EPIGENETIK IST DIE SPRACHE ZWISCHEN UMWELT UND GENOM.

SIE BESTIMMT NICHT NUR, WAS WIR SIND – SONDERN AUCH, WAS WIR WERDEN KÖNNEN.

## Epigenetik und Genregulation

**Die Gene sind nicht das ganze Schicksal** Gene liefern zwar grundlegende Bauanleitungen biologischer Prozesse, doch ob diese Programme tatsächlich aktiviert werden, hängt stark von den Bedingungen innerhalb des zellulären Umfelds ab. Ernährung, Schlaf, chronischer Stress, Schadstoffe, Entzündungen, hormonelle Belastungen oder Bewegungsmangel beeinflussen kontinuierlich jene epigenetischen Schaltmechanismen, die über Zellverhalten und Stoffwechselregulation entscheiden.

Dadurch verändert sich auch der Blick auf Krebs grundlegend. Tumorentwicklung erscheint zunehmend weniger als bloße Folge isolierter Genmutationen, sondern vielmehr als langfristige Destabilisierung komplexer biologischer Steuerungssysteme. Die eigentliche Problematik liegt dann nicht allein im „defekten Bauplan“, sondern im zunehmend chaotischen Betrieb des gesamten biologischen Maschinenraums.

Besonders interessant ist dabei, dass viele epigenetische Veränderungen prinzipiell reversibel sein können. Anders als klassische DNA-Mutationen lassen sich epigenetische Muster unter bestimmten Bedingungen teilweise wieder beeinflussen. Genau deshalb rücken Lebensstil, Ernährung, Entzündungsregulation und Stoffwechselgesundheit immer stärker in den Mittelpunkt moderner Präventionsforschung.

**Umwelt als biologischer Mitprogrammierer** Der menschliche Organismus steht permanent im Austausch mit seiner Umwelt. Luftqualität, Ernährung, Schlafrhythmus, Lichtverhältnisse, soziale Belastungen und chemische Einflüsse wirken kontinuierlich auf hormonelle, immunologische und metabolische Regulationsräume ein. Man könnte sagen: Die Umwelt schreibt permanent mit am biologischen Betriebsprotokoll des Körpers.

Besonders problematisch erscheinen dabei chronische Belastungen, die über Jahre hinweg unterschwellig auf biologische Systeme einwirken. Umweltgifte, oxidativer Stress, Entzündungen oder dauerhafte Überaktivierung hormoneller Stressachsen verändern langfristig jene epigenetischen Steuerprogramme, die normalerweise Stabilität und Regeneration sichern sollen.

Gerade aus metabolischer Sicht wird dadurch verständlich, warum Krebs häufig erst nach jahrzehntelangen Belastungsphasen sichtbar wird. Die biologische Infrastruktur kann erstaunlich lange kompensieren. Doch irgendwann geraten Reparatursysteme, Energieversorgung und Regulationsmechanismen zunehmend unter Druck. Der Organismus arbeitet dann immer stärker im Improvisationsmodus.

*(Siehe Abb. 6.3, Seite 129.)*

**Entzündung, Stoffwechsel und epigenetische Steuerung** Besonders eng verknüpft sind epigenetische Prozesse mit Entzündungsreaktionen und Stoffwechselzuständen. Chronische Entzündungen verändern die Aktivität zahlreicher Gene und

## 6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen

beeinflussen gleichzeitig mitochondriale Funktionen, Immunreaktionen und Zellwachstum. Auch der Zuckerstoffwechsel, hormonelle Signalwege und oxidative Belastungen wirken direkt auf epigenetische Steuerungssysteme ein.

Dadurch entsteht ein hochkomplexes biologisches Netzwerk aus Energieflüssen, Signurräumen und Regulationsmechanismen, innerhalb dessen sich Gesundheit und Krankheit dynamisch entwickeln. Krebs erscheint aus dieser Perspektive nicht mehr ausschließlich als genetischer Unfall, sondern zunehmend als Ausdruck langfristiger Störungen biologischer Ordnungssysteme.

Gerade entzündliche Prozesse wirken dabei häufig wie dauerhafte Störfeuer innerhalb des biologischen Leitstands. Signalwege werden überaktiviert, Reparaturzyklen geraten aus dem Takt und der Organismus muss immer größere Teile seiner Energie dafür aufbringen, innere Stabilität überhaupt noch aufrechtzuerhalten.

**Die Hoffnung auf biologische Reorganisation** Gerade weil epigenetische Prozesse dynamisch auf Umweltbedingungen reagieren, entsteht zugleich eine bemerkenswerte Perspektive: Biologische Systeme besitzen möglicherweise deutlich größere Anpassungs- und Regenerationsfähigkeiten, als lange angenommen wurde.

Bewegung, Schlaf, entzündungsarme Ernährung, Stressreduktion, soziale Stabilität und metabolische Gesundheit könnten daher weit mehr sein als bloße „Lifestyle-Themen“. Sie wirken möglicherweise direkt auf jene Regulationsräume ein, die langfristig über Stabilität, Reparaturfähigkeit und Zellgesundheit entscheiden.

Natürlich bedeutet dies nicht, dass Krebs allein durch Lebensstil erklärbar wäre. Tumorbiologie bleibt ein außerordentlich komplexes Zusammenspiel genetischer, metabolischer, immunologischer und umweltbedingter Prozesse. Doch die Epigenetik zeigt eindrucksvoll, dass der Organismus kein starres Schicksalsprogramm darstellt, sondern ein dynamisches biologisches System mit erstaunlicher Anpassungsfähigkeit.

*(Siehe Abb. 1.1, Seite 7.)*

Vielleicht liegt genau darin eine der wichtigsten Erkenntnisse moderner Krebsforschung: Gesundheit entsteht nicht allein durch einzelne Gene oder isolierte Therapien, sondern durch die langfristige Stabilität komplexer biologischer Ordnungsprozesse. Der Organismus gleicht dabei weniger einem starren Bauplan als vielmehr einer riesigen lebendigen Infrastruktur, die permanent auf Belastung, Energieversorgung, Reparatur und Umweltbedingungen reagieren muss.

## Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels

- Krebs ist kein einheitliches Krankheitsbild, sondern viele unterschiedliche biologische Prozesse.

## 6. Stoffwechsel, Ursachen und biologische Grundlagen

- Tumoren entstehen meist über lange Zeiträume — die Diagnose ist oft ein spätes sichtbares Zeichen.
- Stoffwechsel, Mitochondrien, Entzündung und Immunüberwachung gehören zur Gesamtlandschaft hinter dem Tumor.
- Umwelt, Stress, Infektionen, Strahlung und Epigenetik können Regulationsräume belasten — ohne einfache Schuldmodelle.
- Die Diagnose löst Orientierungsbedarf aus: medizinische Fakten, Emotionen und Informationsflut treffen zusammen.
- Verstehen heißt: den Tumor im Kontext von Energieorganisation und biologischer Stabilität mitdenken.
- Komplementäre und schulmedizinische Ansätze sollten sachlich eingeordnet, nicht pauschal ab- oder angenommen werden.

### Was Sie konkret tun können

*Orientierung und Selbstorganisation — keine medizinischen Anweisungen.*

- **Befunde sammeln:** Pathologie, Bildgebung, Labor — Kopien oder digitale Zugänge in einem Ordner.
- **Arztgespräch vorbereiten:** Krebsart, Stadium, Therapieziele, Nebenwirkungen, Zweitmeinung — schriftlich notieren.
- **Informationsquellen prüfen:** Wer finanziert die Quelle? Gibt es peer-reviewte Studien? Widerspricht es Ihrem Tumorzentrum?
- **Angehörige einbeziehen:** Eine Vertrauensperson darf mitkommen und mitschreiben.
- **Zeit nehmen:** Bei nicht dringenden Entscheidungen ist eine kurze Bedenkzeit oft möglich — fragen Sie danach.

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

### Neue Begriffe dieses Kapitels

Hypoxie=Mangel (Sauerstoff)

Angiogenese=Bildung (Blutgefäß)

Metastase=Ausbreitung (Tumor)

### Ihr Nutzen

Nach diesem Kapitel wissen Sie ...

- wie Tumoren entstehen und sich anpassen,
- welche Rolle Sauerstoffmangel, Gefäßneubildung und Mikromilieu spielen,
- warum Krebs biologisch so unterschiedlich verlaufen kann.

### Wann ist das wichtig?

Für vertiefendes Verständnis nach den praktischen Kapiteln in Teil I und II.

### Was Sie sich merken sollten

- Tumorbilogie erklärt Mechanismen — sie ersetzt keine Therapieentscheidung.
- Viele Prozesse laufen parallel und adaptiv ab.

### Fragen für Ihren Arzt

- Welche biologischen Merkmale meines Tumors sind bekannt (falls erhoben)?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

### **Sofort handeln, wenn ...**

Kein Notfallkapitel.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

### **Vertiefung**

Praktische Krebsarten-Kapitel stehen in Teil II.

## 7.1. Erbgut und Reparaturmechanismen

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

DNA=Speicher(Erbinformation)

DNA-Reparatur=Prozess(Schadensbehebung)

p53=Protein(Zellkontrolle)

Gen=Abschnitt(DNA)

Jede einzelne Zelle des menschlichen Körpers trägt ein biologisches Archiv von kaum vorstellbarer Komplexität in sich. In Form der DNA enthält sie Milliarden chemischer Informationseinheiten, die Wachstum, Stoffwechsel, Zellteilung, Reparatur und Kommunikation steuern. Dieses Erbgut ist jedoch keineswegs ein starres oder unverwundbares System. Im Gegenteil: Die DNA jeder Zelle wird täglich unzähligen Belastungen ausgesetzt – durch Stoffwechselprozesse, freie Radikale, Entzündungen, Umweltgifte, Strahlung, Viren oder Fehler bei der Zellteilung selbst (Lindahl, 1993).

Schätzungen zufolge entstehen in jeder menschlichen Zelle pro Tag Tausende bis Zehntausende DNA-Schäden. Dass der Organismus dennoch über Jahrzehnte funktionsfähig bleibt, verdankt er hochentwickelten Reparaturmechanismen, die kontinuierlich beschädigte Bereiche erkennen, korrigieren oder eliminieren. Gesundheit bedeutet biologisch daher nicht Fehlerfreiheit, sondern die Fähigkeit komplexer Systeme, mit permanenten Schäden und Störungen umzugehen.

**Die Wartungstrupps des Erbguts** Der Körper verfügt über eine ganze Reihe hochspezialisierter Reparatursysteme. Dazu gehören unter anderem Basenexzisionsreparatur, Nukleotidexzisionsreparatur, Mismatch-Reparatur sowie komplexe Mechanismen zur Reparatur von Doppelstrangbrüchen (Friedberg u. a., 2006). Gleichzeitig existieren Programme kontrollierter Zellelimination, falls Schäden nicht mehr sicher beherrschbar sind.



Abbildung 7.1.: Zelluläre Reparaturmechanismen sichern normalerweise die Stabilität genetischer und metabolischer Ordnungssysteme.

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

Wie in Abbildung 7.1, Seite 149 angedeutet, arbeitet der Organismus dabei fast wie ein gigantisches biologisches Wartungswerk mit angeschlossenen Kontrollzentralen, Reparaturkolonnen und Sicherheitsmechanismen. Beschädigte Bereiche werden fortlaufend überwacht, repariert oder notfalls vollständig stillgelegt.

Man könnte sagen: Der Körper lebt permanent im Zustand kontrollierter Instandhaltung.

Besonders bedeutsam ist dabei die enge Verbindung zwischen DNA-Stabilität und Zellstoffwechsel. Jede Reparatur benötigt Energie, Enzyme und funktionierende mitochondriale Prozesse. Die Qualität der Zellatmung, die Verfügbarkeit von ATP sowie die Kontrolle oxidativer Belastungen beeinflussen direkt die Fähigkeit der Zellen, genetische Stabilität aufrechtzuerhalten (Wallace, 2012).

**Oxidativer Stress und metabolische Überlastung** Chronischer oxidativer Stress spielt hierbei eine zentrale Rolle. Bei der normalen Energiegewinnung entstehen fortlaufend reaktive Sauerstoffverbindungen – sogenannte freie Radikale. In kontrollierter Menge erfüllen diese wichtige Signal- und Regulationsfunktionen. Übersteigt ihre Konzentration jedoch die antioxidativen Schutzsysteme der Zelle, können Proteine, Membranen und insbesondere DNA-Strukturen geschädigt werden (Valko u. a., 2007).

Chronische Entzündungen, Umweltgifte, Stress, Rauchen oder Fehlernährung erhöhen diese Belastung zusätzlich. Die biologische Infrastruktur gerät dadurch zunehmend unter Dauerstress. Reparaturmechanismen laufen permanent auf Hochtouren, während gleichzeitig immer neue Schäden entstehen.

Besonders die Mitochondrien stehen im Zentrum dieser Prozesse. Sie produzieren nicht nur Energie, sondern regulieren auch oxidativen Stress, Calciumhaushalt, Immunreaktionen, Apoptose und zahlreiche Signalwege der Zellkontrolle. Moderne Forschung betrachtet Mitochondrien deshalb zunehmend als zentrale Stabilitätszentren biologischer Ordnung (Wallace, 2012).

Einige Forscher vermuten daher, dass mitochondriale Dysfunktionen bereits frühzeitig zur Destabilisierung genetischer Kontrollsysteme beitragen könnten (Seyfried, 2012). Krebs erscheint aus dieser Perspektive weniger als rein genetischer Zufallsfehler, sondern vielmehr als Folge langfristig überlasteter Reparatur- und Regulationssysteme innerhalb des gesamten zellulären Stoffwechsels.

**p53 – der Wächter des Genoms** Besonders wichtig ist das Tumorsuppressorprotein p53, das oft als „Wächter des Genoms“ bezeichnet wird (A. J. Levine, 1997). Dieses Protein überwacht DNA-Schäden und entscheidet darüber, ob Reparaturprogramme aktiviert oder irreparabel beschädigte Zellen kontrolliert eliminiert werden.

In vielen Tumoren ist p53 jedoch mutiert oder funktionell gestört. Der Organismus verliert dadurch gewissermaßen einen zentralen Sicherheitsinspektor seines inneren

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

Maschinenraums. Beschädigte Zellen bleiben bestehen, fehlerhafte Zellverbände vermehren sich weiter und die Stabilität biologischer Ordnungssysteme beginnt langsam zu kollabieren.

Auch Telomere spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Diese Schutzstrukturen an den Enden der Chromosomen begrenzen normalerweise die Lebensdauer von Zellen. Viele Krebszellen aktivieren jedoch das Enzym Telomerase und umgehen dadurch diese biologische Begrenzung (Blackburn, 2001). Tumorzellen gewinnen damit eine Art zellulären Dauerbetrieb.

**Gene arbeiten niemals isoliert** Moderne Krebsforschung betrachtet das Erbgut deshalb zunehmend nicht isoliert, sondern eingebettet in komplexe metabolische und regulatorische Netzwerke. Gene reagieren kontinuierlich auf Stoffwechselzustände, Entzündungen, hormonelle Signale, Umweltfaktoren, Immunreaktionen und energetische Bedingungen.

Der Organismus funktioniert dadurch weniger wie ein statischer Bauplan und eher wie eine hochdynamische Industrieanlage voller Rückkopplungen, Regelkreise und biologischer Notprogramme.

Krebs entsteht möglicherweise nicht primär durch einzelne genetische Defekte, sondern durch langfristige Überforderung jener Systeme, die Ordnung, Reparatur und Stabilität gewährleisten sollen.

**Biologische Widerstandsfähigkeit** Gleichzeitig zeigt die Existenz dieser hochkomplexen Reparatursysteme auch die bemerkenswerte Widerstandsfähigkeit des menschlichen Organismus. Der Körper verfügt über enorme Fähigkeiten zur Regeneration, Anpassung und Fehlerkorrektur.

Ernährung, antioxidative Schutzsysteme, Schlaf, Bewegung, Stressregulation und metabolische Stabilität könnten deshalb entscheidend dazu beitragen, wie effektiv diese biologischen Reparaturmechanismen langfristig funktionieren.

Das Verständnis von Krebs verschiebt sich dadurch zunehmend von einer rein genetischen Sichtweise hin zu einem dynamischen Modell biologischer Stabilität. Gene, Stoffwechsel, Zellatmung, Immunabwehr und Umwelt bilden gemeinsam ein empfindliches Netzwerk, dessen langfristige Destabilisierung schließlich in Tumorentwicklung münden kann.

### 7.2. Zellatmung und Mitochondrien

Neue Begriffe dieses Abschnitts

ATP=Stoff(Energieträger)

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

Kaum ein biologischer Prozess ist fundamentaler für das Leben als die Zellatmung. Jede Bewegung, jeder Gedanke, jede Immunreaktion und jede Zellreparatur benötigt Energie. Diese Energie wird in Form von Adenosintriphosphat (ATP) bereitgestellt – einem universellen biologischen Energieträger, ohne den komplexes Leben nicht möglich wäre. Im Zentrum dieser Energiegewinnung stehen die Mitochondrien, winzige Organellen innerhalb der Zellen, die häufig als „Kraftwerke der Zelle“ bezeichnet werden. Doch diese Beschreibung greift bei weitem zu kurz (Nicholls & Ferguson, 2013).

Mitochondrien sind hochkomplexe Regulationszentren biologischer Ordnung. Sie steuern nicht nur die Energieproduktion, sondern beeinflussen gleichzeitig Zellatmung, oxidativen Stress, Calciumhaushalt, Immunreaktionen, Entzündungsprozesse, Apoptose sowie zahlreiche Signalwege der Zellkommunikation. Moderne Systembiologie betrachtet Mitochondrien deshalb zunehmend als zentrale Schaltstellen metabolischer Stabilität und biologischer Selbstorganisation (Wallace, 2012).

### **Was sind Mitochondrien?**

Mitochondrien sind kleine „Organellen“ in fast jeder Körperzelle. Sie wandeln Nährstoffe und Sauerstoff in nutzbare Energie (ATP) um und senden zugleich Signale für Reparatur, Entzündung und Zelltod. Störungen der mitochondrialen Funktion können den Stoffwechsel und die Zellregulation belasten — ein wiederkehrendes Forschungsthema in der Krebsbiologie.

# DIE MITOCHONDRIEN – ENERGIEZENTRALE IM KREBSTOFFWECHSEL

Mitochondrien bestimmen, ob Krebszellen effizient wachsen, überleben und metastasieren können. oder ob sie in die Abhängigkeit und Behandelbarkeit gezwungen werden.

## FUNKTIONEN DER MITOCHONDRIEN

- ATP** ATP-Produktion über oxidative Phosphorylierung
- Stoffwechsel-Drehscheibe für Kohlenhydrate, Fette und Aminosäuren
- Regulation von Zellüberleben und Apoptose
- Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) als Signal und Waffe
- Wärmeproduktion und Calcium-Homöostase

## MITOCHONDRIEN IN KREBSZELLEN

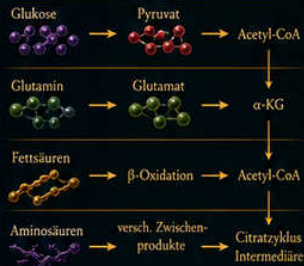
- Veränderte Struktur und Zahl
- Verschiebener Stoffwechsel
- Erhöhter Bedarf, aber ineffiziente Nutzung
- Abhängigkeit von onkogenen Signalen (z. B. mTOR, MYC)
- Anpassung an Sauerstoffmangel und Nährstoffverfügbarkeit



## MITOCHONDRIALE DYSFUNKTION ALS VORTEIL FÜR TUMORE

- Verringerte oxidative Phosphorylierung → mehr Glykolyse (Warburg-Effekt)
- Weniger ROS-Schäden durch veränderte Elektronentransportkette
- Vermeidung von Apoptose durch Blockade pro-apoptotischer Signale
- Erhöhte metabolische Plastizität und Anpassungsfähigkeit
- Unterstützung von Invasion, Metastasierung und Therapieresistenz

## MITOCHONDRIEN STROMAUFWÄRTS: WICHTIGE ZUFLUSSWEGE

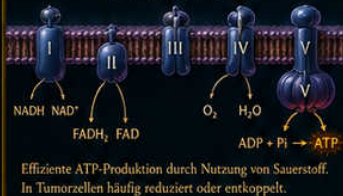


Eine Krebszelle enthält hunderte bis tausende Mitochondrien, die dynamisch ihre Form, Funktion und Anzahl verändern.

## DER CITRATZYKLUS (TCA-ZYKLUS)



## OXIDATIVE PHOSPHORYLIERUNG (ATEMUNGSKETTE)

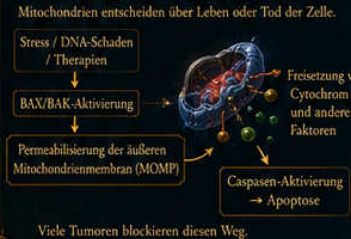


Effiziente ATP-Produktion durch Nutzung von Sauerstoff. In Tumorzellen häufig reduziert oder entkoppelt.

## DYNAMIK DER MITOCHONDRIEN



## ROLLE IN DER APOPTOSE



## THERAPEUTISCHE ANGRIFFSPUNKTE AN DEN MITOCHONDRIEN

### ATEMUNGSKETTE HEMMEN

- Komplex I Inhibitoren (z. B. Metformin, Phenformin)
- Komplex III Inhibitoren (z. B. Atovaquon)
- Komplex IV Inhibitoren (z. B. IACS-010759)

### MITOCHONDRIALE DYNAMIK STÖREN

- DRP1-Inhibitoren (z. B. Mdivi-1)
- Fördern Fusion, um Stressresistenz zu erhöhen

### STOFFWECHSELZUFUHR BLOCKIEREN

- Glutaminase-Hemmer (z. B. CB-839)
- CPT1-Inhibitoren (Fettsäuretransport)
- LDH-Inhibitoren

### MITOCHONDRIALE MEMBRAN ZIELEN

- BCL-2 / MCL-1-Inhibitoren (z. B. Venetoclax)
- BH3-Mimetika aktivieren Apoptose

### mtDNA UND BIOGENESE ZIELEN

- Hemmung der mtDNA-Replikation (z. B. Ethidium)
- PGC-1α / NRF1 / TFAM-Signalwege blockieren

## BIOMARKER FÜR MITOCHONDRIALE AKTIVITÄT IM TUMOR

- mtDNA-Kopienzahl
- Citratsynthase-Aktivität
- OCR (Sauerstoffverbrauchsrate)
- ATP/ADP-Verhältnis
- Expression von TFAM, PGC-1α, COX IV

## NACHWEIS & ÜBERWACHUNG

- Seahorse-Analyse (OCR/ECAR)
- PET mit <sup>18</sup>F-FDG oder <sup>18</sup>F-FAZA
- Konfokale/Elektronenmikroskopie
- Metabolomics & Flux-Analysen

## ZIEL: MITOCHONDRIENEN VORTEIL KIPPEN

- Energiekrise in Tumorzellen auslösen
- Abhängigkeit von externen Nährstoffen durchbrechen
- Apoptose wieder ermöglichen
- Therapieresistenz überwinden

DAS VERSTÄNDNIS UND DIE ZIELGERICHTETE BEEINFLUSSUNG DER MITOCHONDRIEN IST EIN SCHLÜSSEL ZUR KONTROLLE DES KREBSTOFFWECHSELS.

Die Mitochondrien

**Die Kraftwerke des inneren Maschinenraums** Unter normalen Bedingungen erfolgt die Energiegewinnung gesunder Zellen überwiegend über die oxidative Phosphorylierung. Dabei wird Glukose zunächst in kleinere Moleküle zerlegt und anschließend innerhalb der Mitochondrien unter Sauerstoffverbrauch hoch effizient zur ATP-Produktion genutzt. Dieser Prozess liefert enorme Energiemengen und erzeugt gleichzeitig vergleichsweise wenig metabolischen Abfall.

Der Organismus arbeitet dabei fast wie ein gigantisches biologisches Energiekombinat. Milliarden mikroskopischer Kraftwerke versorgen jede einzelne Zelle mit Energie, koordinieren Signalwege und halten die empfindliche Infrastruktur des Körpers stabil. Solange diese Systeme präzise reguliert bleiben, funktioniert die innere Ordnung erstaunlich zuverlässig.

Krebszellen dagegen zeigen häufig eine auffällige Veränderung dieses Systems. Viele Tumoren reduzieren die mitochondriale Energiegewinnung und verlagern ihren Stoffwechsel verstärkt auf Glykolyse – selbst bei ausreichender Sauerstoffversorgung (Warburg, 1956). Diese metabolische Umstellung bildet die Grundlage des sogenannten Warburg-Effekts und gilt heute als eines der charakteristischen Merkmale vieler Tumorerkrankungen.

**Metabolische Improvisation von Tumorzellen** Lange Zeit wurde angenommen, dass Krebszellen defekte oder funktionslose Mitochondrien besitzen. Heute erscheint dieses Bild deutlich komplexer. Viele Tumorzellen verfügen durchaus über aktive Mitochondrien, nutzen diese jedoch in veränderter Weise (Heiden u. a., 2009). Krebszellen entwickeln hochflexible Stoffwechselstrategien und können je nach Umgebung zwischen unterschiedlichen Energiequellen wechseln. Neben Glukose nutzen manche Tumoren verstärkt Fettsäuren, Aminosäuren, Ketonkörper oder sogar Stoffwechselprodukte benachbarter Zellen.

Dadurch entsteht ein hochgradig adaptives biologisches System. Der Tumor reagiert flexibel auf Sauerstoffmangel, Nährstoffknappheit oder therapeutischen Druck und organisiert seine Energieversorgung permanent neu. Fast wie eine improvisierende Schattenökonomie innerhalb des inneren biologischen Maschinenraums.

**Oxidativer Stress und biologische Überlastung** Besonders bedeutsam ist die Beziehung zwischen Mitochondrien und oxidativem Stress. Während der Zellatmung entstehen fortlaufend reaktive Sauerstoffverbindungen. In kontrollierter Menge erfüllen diese wichtige Signal- und Regulationsfunktionen. Übermäßige Bildung freier Radikale dagegen kann DNA, Proteine und Zellmembranen schädigen (Valko u. a., 2007).

Chronische Entzündungen, Umweltgifte, Stress oder Fehlernährung erhöhen diese Belastung zusätzlich. Mitochondrien befinden sich dadurch in einem empfindlichen



Abbildung 7.2.: Tumorzellen entwickeln flexible metabolische Strategien und passen ihre Energiegewinnung dynamisch an Umweltbedingungen an.

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

Spannungsfeld zwischen Energieproduktion und oxidativer Kontrolle. Funktionieren antioxidative Schutzsysteme nicht mehr ausreichend, kann eine dauerhafte mitochondriale Dysfunktion entstehen.

Man könnte sagen: Die biologischen Kraftwerke beginnen langsam zu überhitzen. Kühlkreisläufe geraten unter Druck, Reparaturprogramme laufen im Dauerbetrieb und die energetische Infrastruktur verliert zunehmend ihre Stabilität.

Einige Forscher sehen hierin einen möglichen Ausgangspunkt chronischer Erkrankungen und Tumorentwicklung (Seyfried, 2012). Krebs erscheint aus dieser Perspektive weniger als rein genetischer Zufall, sondern vielmehr als langfristige metabolische Entgleisung biologischer Energiesysteme.

**Mitochondrien und programmierter Zelltod** Hinzu kommt, dass Mitochondrien eine zentrale Rolle beim programmierten Zelltod spielen. Gesunde Zellen besitzen Mechanismen, mit denen irreparabel geschädigte Zellen kontrolliert eliminiert werden können. Dieser Prozess der Apoptose schützt den Organismus normalerweise vor entarteten oder gefährlichen Zellpopulationen.

Viele Krebszellen entwickeln jedoch Strategien, diese Programme zu umgehen (Hanahan & Weinberg, 2011). Dadurch verlieren Zellen die Fähigkeit zur kontrollierten Selbstelimination und können trotz schwerer Schäden weiter wachsen. Der biologische Leitstand erkennt die Fehlfunktion zwar teilweise noch, doch die eigentlichen Abschaltmechanismen reagieren immer unzuverlässiger.

**Lebensstil, Stoffwechsel und mitochondriale Stabilität** Interessanterweise reagieren mitochondriale Prozesse stark auf Ernährung und Lebensstil. Chronisch erhöhte Insulinspiegel, Bewegungsmangel, Schlafstörungen und entzündungsfördernde Ernährung beeinflussen die mitochondriale Regulation direkt. Gleichzeitig zeigen zahlreiche Untersuchungen, dass Bewegung, Fasten, ketogene Ernährung, sekundäre Pflanzenstoffe und bestimmte Mikronährstoffe mitochondriale Funktionen positiv beeinflussen können.

Auch das Immunsystem ist eng mit mitochondrialen Prozessen verbunden. Immunzellen verändern je nach Aktivitätszustand ihren Stoffwechsel und ihre Energiegewinnung. Chronische Entzündungen, Hypoxie und metabolische Dysregulation beeinflussen dadurch unmittelbar die Fähigkeit des Organismus, Tumorzellen zu erkennen und zu kontrollieren (Buck u. a., 2015).

Die moderne Krebsforschung beginnt deshalb zunehmend zu verstehen, dass Stoffwechsel und Zellatmung keine nebensächlichen Begleiterscheinungen der Tumorbilogie darstellen, sondern möglicherweise zentrale Steuerungsebenen biologischer Ordnung. Mitochondrien verbinden Energie, Immunologie, Entzündung, Zellkommunikation und genetische Stabilität zu einem hochdynamischen Regulationsnetzwerk.

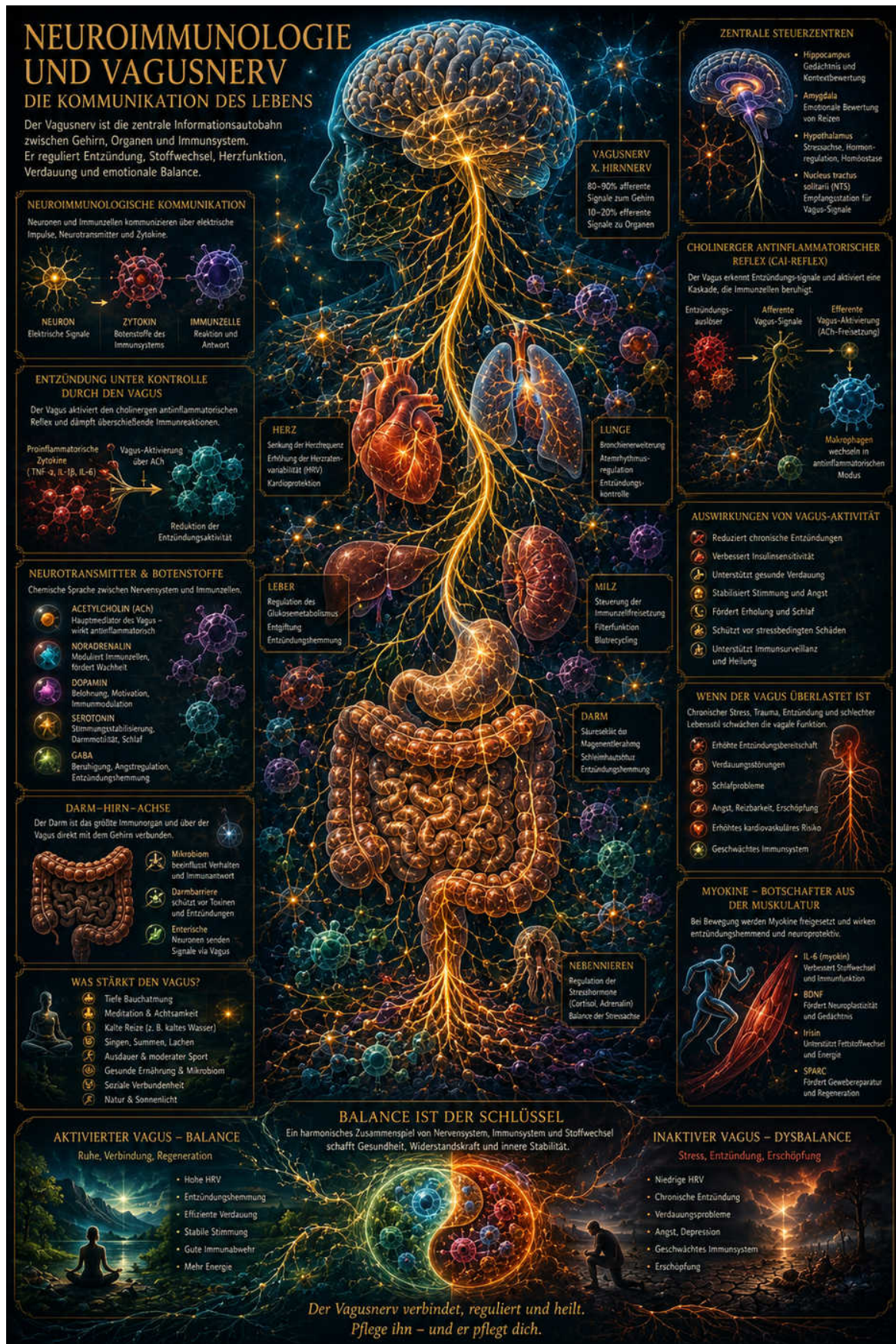


Abbildung 7.3.: Stoffwechsel, Immunologie und neuronale Regulationssysteme sind eng miteinander verbunden.

Krebs wird dadurch zunehmend als Krankheit gestörter biologischer Energieorganisation sichtbar. Die Frage, wie Zellen Energie erzeugen, speichern, verteilen und regulieren, könnte sich langfristig als ebenso wichtig erweisen wie die Analyse einzelner Gene oder Mutationen. Mitochondrien stehen damit im Zentrum einer neuen metabolischen Perspektive auf Gesundheit, Zellstabilität und Tumorentwicklung.

### 7.3. Warburg-Effekt

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Laktat=Stoff(Zuckerabbauprodukt)

Glukose=Zucker(Energiequelle)

Stoffwechselreprogrammierung=Umstellung(Energiegewinnung)

Kaum eine Beobachtung hat das moderne Verständnis von Krebs so nachhaltig beeinflusst wie die Entdeckung des sogenannten Warburg-Effekts. Bereits in den 1920er Jahren erkannte der deutsche Biochemiker Otto Warburg, dass viele Tumorzellen ihren Energiestoffwechsel grundlegend verändern. Statt Glukose überwiegend über die mitochondriale Zellatmung effizient zu verwerten, greifen Krebszellen verstärkt auf Glykolyse zurück – selbst dann, wenn ausreichend Sauerstoff vorhanden ist (Warburg, 1956).

Unter normalen Bedingungen erscheint dies zunächst biologisch unlogisch. Die oxidative Phosphorylierung innerhalb der Mitochondrien liefert pro Glukosemolekül ein Vielfaches an ATP im Vergleich zur Glykolyse. Dennoch bevorzugen viele Tumoren genau diesen scheinbar ineffizienteren Stoffwechselweg. Krebszellen konsumieren enorme Mengen Zucker und produzieren gleichzeitig große Mengen Laktat. Dieses Verhalten bildet bis heute die Grundlage moderner bildgebender Verfahren wie der FDG-PET-Diagnostik, bei der der erhöhte Glukoseverbrauch von Tumoren sichtbar gemacht wird.

#### Was ist der Warburg-Effekt?

Viele Tumorzellen verbrauchen auffällig viel Zucker (Glukose) und produzieren Laktat — auch wenn genug Sauerstoff da ist. Das nennt man aerobe Glykolyse oder Warburg-Effekt. Es erklärt nicht alle Krebsarten, ist aber ein wichtiges Merkmal für Diagnostik und Forschung. Es bedeutet nicht automatisch, dass „Zucker den Krebs ernährt“ — die biologische Wirklichkeit ist komplexer.

# DER WARBURG-EFFEKT

## KREBSZELLEN LEBEN VON ZUCKER – AUCH OHNE SAUERSTOFF

Krebszellen bevorzugen die Glykolyse zur Energiegewinnung, selbst wenn genügend Sauerstoff vorhanden ist. Diese metabolische Umprogrammierung fördert Wachstum, Überleben und Resistenz.

### KERNMERKMALE

- ↑ Erhöhte Glukoseaufnahme
- ⚡ Hohe Glykolyseaktivität
- 🔴 Laktatproduktion und -sekretion
- pH Ansäuerung des Tumormikromilieus
- 🛡️ ATP-Gewinnung unabhängig von  $O_2$
- 🧬 Förderung von Wachstum und Resistenz

### WICHTIGE MOLEKÜLE

- HIF-1 $\alpha$ : Fördert die Expression glykolytischer Gene
- MYC: Steigert die Glykolyse und Glukoseaufnahme
- PI3K/AKT/mTOR: Aktiviert Stoffwechselprogramme
- LDH-A: Wandelt Pyruvat in Laktat um
- MCT4: Exportiert Laktat aus der Zelle
- HK2: Hexokinase 2 – erster Schritt der Glykolyse

### WARUM GLYKOLYSE?

- ⚡ Schnelle ATP-Produktion (wenn auch weniger effizient)
- 🔧 Bereitstellung von Zwischenprodukten für Biosynthesen
- 🧼 Reduktion von ROS durch veränderten Stoffwechsel
- ⚡ Anpassung an hypoxische Mikroumgebungen
- 🛡️ Förderung von Invasion und Metastasierung

### FOLGEN FÜR DAS TUMORMIKROMILIEU

- pH Säuerung (pH 4) fördert Invasion
- 🛡️ Unterdrückung der Immunabwehr
- 🔴 Förderung von Angiogenese
- 🛡️ Unterstützung von Metastasenbildung
- 🛡️ Resistenz gegen Therapien

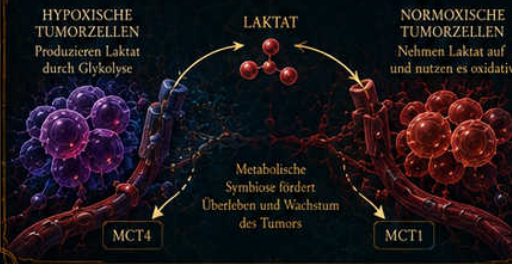
### STOFFWECHSEL-WEG: NORMALZELLE vs. KREBSZELLE



### THERAPIEANSÄTZE

- Glykolyse-Hemmer z. B. 2-DG, LDH-A-Inhibitoren
- Glukoseaufnahme blockieren z. B. GLUT-Inhibitoren
- Laktat-Transport hemmen z. B. MCT1/4-Inhibitoren
- Säurepufferung nutzen z. B. Bikarbonat-Therapie
- Kombination mit Chemo-, Radio- und Immuntherapie

### LAKTAT-KREISLAUF IM TUMORGEWEBE



### BIOMARKER DES WARBURG-EFFEKTES

- 🔴 Hohe 18F-FDG-PET-Aufnahme
- 🔴 Erhöhtes Laktat im Gewebe
- pH Niedriger pH-Wert
- 🔴 Hohe GLUT1/3-Expression
- 🔴 Erhöhte LDH-A-Aktivität
- 🔴 Geringe mitochondriale Atmungsaktivität

Die Umprogrammierung des Energiestoffwechsels ist ein zentrales Kennzeichen des Krebses. Der Warburg-Effekt ist nicht nur ein Stoffwechselphänomen, sondern ein strategischer Vorteil für Tumorzellen.

## Der Warburg-Effekt

**Die Renaissance der Stoffwechselferspektive** Lange Zeit wurde Warburgs Theorie kontrovers diskutiert. Die molekulare Krebsforschung konzentrierte sich zunehmend auf Gene, Mutationen und Signalwege, während metabolische Aspekte teilweise in den Hintergrund rückten. Erst in den vergangenen Jahren erlebt die Stoffwechselferspektive eine bemerkenswerte Renaissance (Heiden u. a., 2009). Heute gilt metabolische Reprogrammierung als eines der zentralen Kennzeichen vieler Tumoren.

Doch der Warburg-Effekt ist weit mehr als bloßer „Zuckerverbrauch“. Er beschreibt eine tiefgreifende Umorganisation zellulärer Energieflüsse. Krebszellen verändern nicht nur ihre ATP-Produktion, sondern bauen gleichzeitig Biosyntheseprozesse, Aminosäurestoffwechsel, Lipidproduktion, Redoxregulation und Signalwege umfassend um. Durch verstärkte Glykolyse entstehen zahlreiche Zwischenprodukte, die Tumorzellen direkt für Wachstum, Zellteilung und Gewebeumbau nutzen können (DeBerardinis u. a., 2008).

Der Tumor verhält sich dabei fast wie ein biologisches Großkombinat im permanenten Ausbausezustand. Energie wird nicht mehr allein effizient erzeugt, sondern gezielt in Wachstum, Expansion und infrastrukturelle Anpassung umgeleitet.

**Die metabolische Zuckersucht der Tumoren** Besonders auffällig ist die enorme Glukoseabhängigkeit vieler Tumoren. Krebszellen entwickeln häufig eine regelrechte metabolische Zuckersucht. Transportproteine für Glukose werden verstärkt exprimiert, während Insulin- und IGF-1-Signalwege das Tumorstwachstum zusätzlich stimulieren können. Chronisch erhöhte Blutzucker- und Insulinspiegel geraten dadurch zunehmend in den Fokus metabolischer Krebsforschung.

Gleichzeitig verändert die gesteigerte Glykolyse das gesamte Tumormikromilieu. Die Produktion von Laktat führt zu einer Übersäuerung des umliegenden Gewebes. Dieses saure Milieu beeinflusst Immunreaktionen, Gefäßbildung, Zellbeweglichkeit, Entzündungsprozesse und die Invasivität von Tumoren (Gatenby & Gillies, 2004).

Man könnte sagen: Der Tumor beginnt, seine eigene chemische Landschaft umzubauen. Das umliegende Gewebe wird zunehmend in einen Art biologischen Ausnahmezustand versetzt, innerhalb dessen gesunde Regulationssysteme immer instabiler werden.

**Hypoxie und metabolischer Anpassungsdruck** Die Ursachen des Warburg-Effekts werden bis heute intensiv erforscht. Mehrere Mechanismen scheinen dabei zusammenzuwirken: mitochondriale Dysfunktionen, Hypoxie, chronische Entzündungen, genetische Veränderungen sowie Wachstums- und Stresssignale.

Besonders Sauerstoffmangel spielt eine wichtige Rolle. Innerhalb vieler Tumoren entstehen Regionen, die nur unzureichend mit Sauerstoff versorgt werden. Diese Hypoxie aktiviert den Transkriptionsfaktor HIF-1 $\alpha$ , der zahlreiche Gene des Zuckerstoffwechsels reguliert und die Glykolyse zusätzlich verstärkt (Semenza, 2003). Dadurch entsteht ein selbstverstärkender metabolischer Anpassungsprozess.



Abbildung 7.4.: Tumorzellen programmieren ihre Energie- und Stoffwechselwege dynamisch um und schaffen neue metabolische Anpassungsräume.

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

Der Tumor reagiert auf diese Belastung fast wie eine Stadt im permanenten Versorgungsnotstand. Neue Energiewege werden improvisiert, Notprogramme aktiviert und alternative Stoffwechselrouten aufgebaut, um das Überleben trotz instabiler Bedingungen zu sichern.

**Tumoren als metabolische Ökosysteme** Interessanterweise besitzen nicht alle Tumoren denselben Stoffwechseltyp. Moderne Forschung zeigt, dass Krebszellen metabolisch hochflexibel sein können. Einige Tumoren nutzen gleichzeitig Glykolyse, oxidative Phosphorylierung, Fettsäureoxidation oder Aminosäurestoffwechsel. Tumoren erscheinen dadurch weniger als starre Systeme, sondern vielmehr als dynamische metabolische Ökosysteme mit enormer Anpassungsfähigkeit (Hanahan, 2022).

Diese Erkenntnisse eröffnen neue therapeutische Perspektiven. Wenn Tumoren auf bestimmte Stoffwechselwege angewiesen sind, könnten genau diese Prozesse gezielt beeinflusst werden. Daher wächst das Interesse an ketogenen Diäten, Fastenstrategien, Glukoserestriktion, metabolischen Medikamenten sowie Eingriffen in mitochondriale Signalwege (Seyfried, 2012).

Ziel solcher Ansätze ist es häufig, die metabolischen Schwächen von Tumorzellen auszunutzen, ohne gesunde Zellen gleichermaßen zu schädigen. Besonders spannend erscheint dabei die Möglichkeit, den Tumor nicht direkt zu zerstören, sondern ihm schrittweise die energetische Grundlage seines Wachstums zu entziehen.

**Krebs als Störung biologischer Energieordnung** Der Warburg-Effekt zeigt eindrucksvoll, wie eng Stoffwechsel, Zellregulation und Tumorbilogie miteinander verbunden sind. Krebs entsteht möglicherweise nicht allein durch genetische Defekte, sondern innerhalb langfristig veränderter Energie- und Regulationssysteme. Die Art und Weise, wie Zellen Energie erzeugen und verteilen, beeinflusst unmittelbar Wachstum, Immunologie, Entzündung, Zellkommunikation und biologische Stabilität.

Der Warburg-Effekt markiert damit einen grundlegenden Perspektivwechsel innerhalb der Krebsforschung. Krebs erscheint nicht mehr ausschließlich als genetische Krankheit, sondern zunehmend als tiefgreifende metabolische Umorganisation lebender Systeme – als eine Störung biologischer Energieordnung innerhalb hochkomplexer zellulärer Netzwerke.

### 7.4. Hypoxie und HIF

Neue Begriffe dieses Abschnitts

Tumorhypoxie=Hypoxie(Tumor)

HIF=Faktor(Sauerstoffmangel)

**Sauerstoffgradient=Unterschied(Sauerstoffkonzentration)**

Sauerstoff gehört zu den grundlegenden Voraussetzungen komplexen Lebens. Nahezu jede Zelle des menschlichen Körpers ist auf eine kontinuierliche Versorgung mit Sauerstoff angewiesen, um Energie effizient über die mitochondriale Zellatmung zu erzeugen. Gleichzeitig zeigt sich jedoch gerade in Tumoren häufig ein paradoxes Bild: Viele Krebsgewebe wachsen so schnell und unkontrolliert, dass ihre eigene Blutversorgung mit dem Wachstum nicht Schritt halten kann. Es entstehen Regionen mit chronischem Sauerstoffmangel – sogenannte hypoxische Zonen (Semenza, 2003).

Hypoxie gehört heute zu den zentralen Merkmalen vieler Tumorerkrankungen. Innerhalb solcher sauerstoffarmen Mikromilieus verändern Krebszellen tiefgreifend ihren Stoffwechsel, ihre Signalwege und ihr biologisches Verhalten. Dabei handelt es sich keineswegs nur um eine passive Folge unzureichender Durchblutung. Vielmehr entwickeln Tumoren hochkomplexe Anpassungsstrategien, die ihnen das Überleben unter extremen Bedingungen ermöglichen.

**Der biologische Sauerstoffsensor** Im Zentrum dieser Anpassung steht ein molekulares Regulationssystem namens HIF – der *Hypoxia-Inducible Factor*. Besonders die Untereinheit HIF-1 $\alpha$  wirkt wie ein biologischer Sauerstoffsensor (Semenza, 2003). Unter normalen Bedingungen wird HIF-1 $\alpha$  rasch abgebaut. Sinkt der Sauerstoffgehalt jedoch ab, stabilisiert sich das Protein und aktiviert zahlreiche Gene, die Stoffwechsel, Gefäßbildung und Überlebensstrategien der Zellen verändern.

Die Aktivierung von HIF beeinflusst unter anderem Glukoseaufnahme, Glykolyse, Angiogenese, Zellmigration, Entzündungsprozesse sowie vielfältige Anpassungsmechanismen der Tumorzellen. Dadurch entsteht eine tiefgreifende metabolische Reprogrammierung. Krebszellen schalten verstärkt auf anaerobe Glykolyse um und reduzieren ihre Abhängigkeit von der sauerstoffabhängigen mitochondrialen Zellatmung (Heiden u. a., 2009).

Der Warburg-Effekt und Hypoxie bilden deshalb eine enge funktionelle Einheit. Sauerstoffmangel zwingt den Tumor gewissermaßen dazu, seine Energieversorgung permanent umzubauen und alternative Stoffwechselprogramme zu aktivieren.

**Tumoren bauen ihre eigene Infrastruktur** Besonders bedeutsam ist die Fähigkeit hypoxischer Tumoren, neue Blutgefäße zu bilden. HIF aktiviert unter anderem die Produktion von VEGF (*Vascular Endothelial Growth Factor*), einem zentralen Signalstoff der Angiogenese (Ferrara, 2004). Tumoren versuchen dadurch, ihre Sauerstoffversorgung zu verbessern und weiteres Wachstum zu ermöglichen.

Doch diese neuen Gefäßsysteme wirken häufig chaotisch, instabil und funktionell ineffizient. Blutgefäße wachsen ungeordnet, Leckagen entstehen und manche Regionen

## 7. Entstehung und Tumorbologie



Abbildung 7.5.: Sauerstoffgradienten und Hypoxie. Hypoxische Tumorregionen erzeugen komplexe Sauerstoffgradienten und verändern die metabolische Dynamik des Gewebes.

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

bleiben trotz neuer Versorgungslinien weiterhin schlecht durchblutet. Dadurch entwickeln Tumoren regelrechte mikroökologische Landschaften aus Sauerstoffgradienten, Stoffwechselzonen und Entzündungsräumen.

Man könnte sagen: Der Tumor errichtet mitten im biologischen Maschinenraum seine eigene improvisierte Infrastruktur. Neue Leitungen werden gezogen, Notversorgungssysteme aufgebaut und metabolische Übergangszonen geschaffen, innerhalb derer sich Krebszellen immer weiter an extreme Bedingungen anpassen.

**Hypoxie als Motor der Aggressivität** Hypoxische Bedingungen beeinflussen die Aggressivität von Tumoren erheblich. Zahlreiche Studien zeigen, dass Sauerstoffmangel Invasivität, Metastasierung, Therapieresistenz und immunologische Fluchtmechanismen fördern kann (Gilkes u. a., 2014). Hypoxische Tumorzellen werden häufig widerstandsfähiger gegenüber Bestrahlung und bestimmten Chemotherapien, da viele therapeutische Verfahren auf aktive Sauerstoffradikale angewiesen sind.

Auch das Immunsystem reagiert empfindlich auf hypoxische Mikroumgebungen. Sauerstoffarme Tumorregionen verändern die Aktivität von Immunzellen, fördern entzündliche Prozesse und erschweren häufig die effektive Immunabwehr (Noman u. a., 2015). Tumoren schaffen dadurch biologische Schutzräume, innerhalb derer sie sich teilweise der Kontrolle des Organismus entziehen können.

Gerade aus metabolischer Sicht erscheint Hypoxie daher weniger als bloße Begleiterscheinung des Tumorwachstums, sondern vielmehr als aktiver evolutionärer Selektionsdruck. Krebszellen, die unter Sauerstoffmangel überleben können, entwickeln häufig besonders aggressive Anpassungsstrategien.

**Die Dynamik biologischer Stressräume** Interessanterweise besitzt Hypoxie nicht ausschließlich krankhafte Eigenschaften. Kurzfristige Sauerstoffmangelzustände gehören auch zu normalen biologischen Anpassungsmechanismen, etwa bei körperlicher Belastung oder Höhengraufhalten. Problematisch wird Hypoxie vor allem dann, wenn sie chronisch wird und gemeinsam mit Entzündung, oxidativem Stress und metabolischer Dysregulation dauerhaft auf biologische Systeme einwirkt.

Sauerstoffmangel verändert dabei nicht nur die Energiegewinnung, sondern greift tief in Zellkommunikation, Genregulation, Immunologie, Gefäßbildung und Stoffwechselnetzwerke ein. Krebs entwickelt sich dadurch zunehmend als dynamisches Anpassungssystem innerhalb mikroökologischer Stressräume.

**Neue therapeutische Perspektiven** Die Erforschung von Hypoxie eröffnet zugleich neue therapeutische Möglichkeiten. Moderne Forschung untersucht intensiv HIF-Inhibitoren, antiangiogene Therapien, hyperbare Sauerstofftherapie, Hyperthermie

## 7. Entstehung und Tumorbilogie



Abbildung 7.6.: Systemische Entzündungslandschaften. Chronische Entzündungs- und Stressräume beeinflussen Stoffwechsel, Immunologie und Tumorentwicklung auf systemischer Ebene.

sowie metabolische Eingriffe in hypoxische Signalwege. Auch Ernährung, Entzündungsregulation und mitochondriale Stabilisierung könnten indirekt Einfluss auf hypoxische Prozesse besitzen.

Die Erforschung von Hypoxie verändert damit grundlegend den Blick auf Krebs. Tumoren erscheinen nicht länger als bloße Ansammlungen mutierter Zellen, sondern als adaptive biologische Ökosysteme, die ihre eigene mikroskopische Umwelt aktiv gestalten. Sauerstoffmangel wird dabei zu einem zentralen Motor metabolischer Anpassung, zellulärer Selektion und biologischer Umorganisation innerhalb des Tumormikromilieus.

### 7.5. Zellen in Bewegung

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Invasion=Eindringen(Tumor)

EMT=Umstellung(Zellbeweglichkeit)

ExtrazelluläreMatrix=Gerüst(Gewebe)

Zellmigration=Bewegung(Zelle)

Gesunde Zellen bleiben in der Regel an ihrem Platz. Sie sind an Nachbarzellen gebunden, orientieren sich an der extrazellulären Matrix und reagieren auf chemische Signale ihrer Umgebung. Krebszellen können diese Ordnung schrittweise aufbrechen — sie werden beweglicher, verändern ihre Form und beginnen, Gewebegbarrieren zu überwinden (Kalluri & Weinberg, 2009; Egeblad & Werb, 2002).

**Von der festen Struktur zur Wanderung** Zentral ist die sogenannte epithelial-mesenchymale Transition (EMT). Epitheliale Zellen — etwa in Haut, Darm oder Drüsen — verlieren teilweise ihre stabile Verankerung und gewinnen Eigenschaften beweglicherer Zelltypen. Der Prozess erinnert an Programme der Embryonalentwicklung und Wundheilung, läuft bei Tumoren jedoch entgleist ab. EMT ist kein einzelner Schalter, sondern ein Spektrum zellulärer Umstellungen.

**Migration als biologische Strategie** Wandernde Tumorzellen nutzen Enzyme, um die extrazelluläre Matrix zu durchbrechen, und reagieren auf chemotaktische Signale — „Spuren“, denen sie folgen. Hypoxie, Entzündung und metabolischer Stress in hypoxischen Mikroräumen können diese Beweglichkeit zusätzlich fördern (Gilkes u. a., 2014). Der Tumor beginnt damit, nicht nur zu wachsen, sondern aktiv neue Territorien zu erschließen.

(Siehe Abb. 6.1, Seite 125.)

Wie in Abbildung 6.1, Seite 125 angedeutet, hängen Zellmigration und Stoffwechselumstellung eng zusammen: Wandernde Zellen benötigen flexible Energiegewinnung und robuste Anpassungsprogramme.

**Brücke zur Metastasierung** Noch bedeutet Beweglichkeit nicht automatisch Metastasen. Die meisten wandernden Zellen scheitern im Blut- oder Lymphkreislauf oder finden kein geeignetes „Boden“-Gewebe zur Ansiedlung. Dennoch markiert die Fähigkeit zur Invasion einen entscheidenden Wendepunkt: Der Tumor verlässt seine lokale Begrenzung. Im nächsten Abschnitt geht es um Metastasen — die systemische Ausbreitung des Krebses (Lambert u. a., 2017).

### 7.6. Metastasen und Invasion

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Fernmetastase=Metastase(anderes<sub>Organ</sub>)

Blutbahn=Weg(Blutkreislauf)

Lymphsystem=Netzwerk(Abwehrflüssigkeit)

Die eigentliche Gefährlichkeit vieler Krebserkrankungen liegt nicht allein im Primärtumor, sondern in seiner Fähigkeit zur Ausbreitung. Metastasen gehören bis heute zu den größten Herausforderungen der modernen Onkologie. Während ein lokal begrenzter Tumor häufig operativ oder therapeutisch kontrollierbar bleibt, verwandelt die systemische Streuung einzelner Krebszellen die Erkrankung in ein hochkomplexes biologisches Netzwerkproblem (P. B. Gupta & Massagué, 2006).

Metastasierung ist dabei kein zufälliger Vorgang. Tumorzellen müssen sich aus ihrem Ursprungsgewebe lösen, Gewebsbarrieren überwinden, Blut- oder Lymphgefäße infiltrieren, den Transport im Kreislaufsystem überstehen und schließlich neue Tumorkolonien in fremden Organen aufbauen. Nur ein sehr kleiner Teil aller wandernden Krebszellen überlebt diesen Prozess erfolgreich. Dennoch reichen bereits wenige hochadaptive Zellpopulationen aus, um lebensbedrohliche Metastasen zu erzeugen (Lambert u. a., 2017).

#### Was bedeutet Metastase?

Eine Metastase ist ein Tochterherd des Tumors an einer anderen Stelle im Körper (z. B. Leber, Lunge, Knochen). Sie entsteht, wenn Krebszellen auswandern und sich dort ansiedeln. Metastasen verändern oft die Therapiestrategie — sie bedeuten nicht automatisch „keine Hoffnung“, erfordern aber meist systemische (körperweite) Behandlung. Die Einordnung ist strikt individuell.

**Der Tumor verlässt sein Ursprungsgebiet** Besonders faszinierend ist die enorme Anpassungsfähigkeit metastasierender Krebszellen. Während gesunde Zellen normalerweise eng an ihr Ursprungsgewebe gebunden bleiben, entwickeln Tumorzellen Eigenschaften, die fast an primitive evolutionäre Überlebensstrategien erinnern. Sie verändern ihre Form, ihren Stoffwechsel und ihre Kommunikation mit der Umgebung. Krebs erscheint dadurch zunehmend als dynamischer Selektionsprozess innerhalb biologischer Stresslandschaften.

Ein zentraler Mechanismus ist die Invasion des umliegenden Gewebes. Tumorzellen produzieren Enzyme wie Matrix-Metalloproteinasen, welche die extrazelluläre Matrix abbauen und Gewebestrukturen destabilisieren (Egeblad & Werb, 2002). Dadurch öffnen sich mikroskopische Wege durch Bindegewebe und Gefäßwände. Gleichzeitig verlieren Krebszellen zunehmend ihre ursprüngliche Gewebeidentität.

Man könnte sagen: Der Tumor beginnt, seine eigenen Grenzanlagen einzureißen. Sicherheitszäune werden demontiert, Versorgungskorridore geöffnet und biologische Kontrolllinien schrittweise unterlaufen.

**Die Rückkehr uralter Bewegungsprogramme** Besonders eng mit diesen Prozessen verbunden ist die epithelial-mesenchymale Transition (EMT). Während der EMT verwandeln sich stabile epitheliale Zellen in beweglichere und invasivere Zelltypen (Kalluri & Weinberg, 2009). Dieser Prozess erinnert teilweise an biologische Programme der Embryonalentwicklung und Wundheilung. Tumorzellen aktivieren gewissermaßen uralte evolutionäre Bewegungsprogramme erneut – allerdings in entgleister Form.

Dadurch gewinnen Krebszellen eine bemerkenswerte Mobilität. Sie können sich deformieren, durch Gewebespalten wandern und sich neuen mikroökologischen Bedingungen anpassen. Der Tumor entwickelt sich dadurch zunehmend zu einem dynamischen biologischen Wanderungssystem.

**Metabolische Überlebensstrategien** Auch Stoffwechselprozesse spielen hierbei eine zentrale Rolle. Metastasierende Krebszellen benötigen enorme metabolische Flexibilität. Sie müssen unter Sauerstoffmangel, oxidativem Stress, Nährstoffknappheit, mechanischer Belastung und immunologischen Angriffen überleben können (LeBleu u. a., 2014). Viele metastatische Zellpopulationen verändern deshalb ihre mitochondriale Aktivität, ihre Glukoseverwertung und ihre Nutzung alternativer Energiequellen.

Besonders Hypoxie fördert invasive Prozesse erheblich. Sauerstoffarme Tumorregionen aktivieren HIF-Signalwege, welche Glykolyse, Angiogenese, Zellbeweglichkeit und entzündliche Kommunikationsnetzwerke verstärken (Gilkes u. a., 2014). Hypoxische Mikromilieus wirken dadurch fast wie evolutionäre Trainingslager für aggressive und hochadaptive Tumorzellen.

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

Der Tumor verhält sich dabei zunehmend wie eine improvisierende Schattenökonomie innerhalb des Organismus. Neue Überlebensrouten entstehen, alternative Energiequellen werden erschlossen und ganze Zellpopulationen reorganisieren ihre biologische Infrastruktur permanent neu.

**Das Tumormikromilieu als Helfersystem** Hinzu kommt die wichtige Rolle chronischer Entzündungen. Entzündungsmediatoren, Immunzellen und Fibroblasten beeinflussen die Invasivität von Tumoren direkt. Manche Immunzellen fördern unbeabsichtigt sogar Tumorwachstum und Metastasierung, indem sie Wachstumsfaktoren, Gefäßbildung und Gewebeumbau unterstützen (Quail & Joyce, 2013).

Das Tumormikromilieu wird dadurch zu einem komplexen mikroökologischen Ökosystem aus Stoffwechselräumen, Immunreaktionen und zellulären Kommunikationsnetzwerken. Krebszellen agieren keineswegs isoliert, sondern stehen in ständigem Austausch mit ihrer Umgebung. Der Organismus wird gewissermaßen Schritt für Schritt in die Logik des Tumors hineingezogen.

(Siehe Abb. 2.3, Seite 32.)

**Metastatische Nischen** Interessanterweise besitzen verschiedene Organe unterschiedliche „metabolische Landschaften“, die Metastasierung beeinflussen können. Einige Tumoren metastasieren bevorzugt in die Leber, andere in die Lunge, in Knochen oder ins Gehirn. Diese Organpräferenzen hängen offenbar nicht nur von Blutströmungen ab, sondern auch von lokalen Stoffwechselbedingungen, Immunmilieus, Gefäßstrukturen und biochemischen Signalräumen (Fidler, 2003).

Tumorzellen benötigen gewissermaßen passende ökologische Nischen, um sich erfolgreich anzusiedeln. Nicht jede wandernde Krebszelle kann überall überleben. Erst wenn Stoffwechsel, Mikroumgebung und Signalräume kompatibel sind, entsteht eine neue metastatische Kolonie.

**Die systemische Dimension des Krebses** Moderne Forschung untersucht deshalb intensiv Möglichkeiten, Metastasierung frühzeitig zu verhindern oder metastatische Nischen zu destabilisieren. Im Fokus stehen Hemmung invasiver Signalwege, antiangiogene Therapien, Immuntherapien, entzündungshemmende Strategien sowie metabolische Eingriffe.

Auch Ernährung, Bewegung, mitochondriale Stabilität und systemische Entzündungsregulation könnten indirekt Einfluss auf metastatische Prozesse besitzen. Die moderne Krebsforschung beginnt zunehmend zu verstehen, wie eng Zellatmung, Stoffwechsel, Immunologie und biologische Mobilität miteinander verknüpft sind.

Metastasierung verändert damit grundlegend den Blick auf Krebs. Tumoren erscheinen nicht länger als lokale Zellansammlungen, sondern als dynamische evolutionäre Systeme

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

mit hoher ökologischer und metabolischer Anpassungsfähigkeit. Krebs entwickelt sich dadurch zunehmend als systemische Erkrankung biologischer Kommunikation, Mobilität und Energieorganisation – als ein Prozess, bei dem gestörte Zellen beginnen, den gesamten inneren Maschinenraum des Organismus schrittweise umzubauen.

### 7.7. Tumormikromilieu

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Immunzelle=Zelle(Abwehr)

Stroma=Gewebe(Tumorunterstützung)

Ein Tumor besteht nicht einfach aus einer Ansammlung entarteter Zellen. Moderne Krebsforschung zeigt zunehmend, dass Krebs nur innerhalb eines komplexen biologischen Umfeldes entstehen, wachsen und überleben kann. Dieses Umfeld wird als Tumormikromilieu bezeichnet und umfasst weit mehr als den eigentlichen Tumor selbst. Blutgefäße, Immunzellen, Fibroblasten, Entzündungsmediatoren, Stoffwechselprodukte, Sauerstoffgradienten und zahlreiche Kommunikationssysteme bilden gemeinsam eine hochdynamische biologische Landschaft (Hanahan, [2022](#)).

Tumoren verhalten sich dadurch weniger wie isolierte Zellhaufen und zunehmend wie komplexe mikroökologische Ökosysteme.

# TUMOR-MIKROMILIEU

Ein komplexes Ökosystem, das Tumorprogression und Therapieresistenz fördert

Tumorzellen existieren nicht isoliert, sondern in einem dynamischen Mikromilieu aus verschiedenen Zelltypen, extrazellulärer Matrix, löslichen Faktoren und physikalischen Bedingungen, die das Tumorstadium, die Invasion und die Immunflucht maßgeblich beeinflussen.

## ZELLULÄRE KOMPONENTEN

- T-ZELLEN**
  - Erkennt durch Antigene
  - Oft erschöpft oder funktionell gehemmt
- TAMs** (Tumor-assoziierte Makrophagen)
  - Fördern Angiogenese
  - Unterstützen Invasion
  - Produzieren IL-10, TGF- $\beta$
- MDSCs** (Myeloische Suppressorzellen)
  - Unterdrücken T-Zell-Aktivierung
  - Fördern Immuntoleranz
- Tregs** (Regulatorische T-Zellen)
  - Sorgen für Immuntoleranz
  - Fördern Tumorprogression
- NK-ZELLEN**
  - Natürliche Tumorabwehr
  - Oft funktionell inhibiert
- ENDOTHELZELLEN**
  - Bilden neue Blutgefäße
  - Ermöglichen Nährstoffversorgung & Metastase

## PHYSIKALISCHE FAKTOREN

- SAURER pH (6,2-6,8)**
  - Fördert Invasion, Metastase und Immunsuppression
- HOHE INTERSTITIELLE DRUCKBELASTUNG**
  - Komprimiert Gefäße, erschwert Therapeutika-Penetration
- STARRE MATRIX**
  - Erhöht mechanische Spannung, fördert Proliferation und EMT

## LÖSLICHE FAKTOREN

- TGF- $\beta$** 
  - Fördert Immunsuppression, EMT und Metastase
- IL-10**
  - Unterdrückt Entzündung und T-Zell-Aktivität
- IL-6**
  - Fördert Wachstum, Überleben und Entzündung
- VEGF**
  - Stimuliert Angiogenese und Gefäßpermeabilität
- CCL2 (MCP-1)**
  - Rekrutiert Monozyten und fördert TAM-Akkumulation
- PGE2**
  - Fördert Immunsuppression, Angiogenese und Schmerz

## EXTRAZELLULÄRE MATRIX (ECM)

Bietet Struktur, speichert Wachstumsfaktoren, beeinflusst Zellverhalten

## HYPOXIE

Niedriger Sauerstoff stabilisiert HIF-1 $\alpha$ , fördert Angiogenese, Immunsuppression und Therapieresistenz

## ANGIOGENESE

VEGF, FGF, Angiopoietine fördern Gefäßneubildung und erhöhen Metastasepotenzial

## KREBSASSOZIIERTE FIBROBLASTEN (CAFs)

Fördern Wachstum, Invasion und Matrix-Remodellierung

## ZYTOKINE & CHEMOKINE

z. B. TGF- $\beta$ , IL-10, IL-6, CCL2  
Modulieren Zellverhalten, fördern Entzündung und Immuninvasion

## ZUSAMMENSPIEL DES MIKROMILIEUS



## FUNKTIONELLE AUSWIRKUNGEN

- Förderung von Wachstum und Überleben
- Unterdrückung der Immunabwehr
- Steigerung von Invasion und Metastasierung
- Entwicklung von Therapie-resistenz
- Unterstützung der Stammzellnische

## KOMPONENTEN IM ÜBERBLICK

| TUMORZELLE                                | CAFs                                           | TAMs (M2)                                      | MDSCs                                       | Tregs                                          | T-ZELLEN (erschöpft)                                    | NK-ZELLEN (inhibiert)                                | ENDOTHELZELLEN                                      | ECM                                                                  |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Proliferation<br>Resistenz<br>Antigenität | Matrix-Remod.<br>Wachstumsfaktoren<br>Invasion | Phagozytose<br>Zytokine (IL-10)<br>Angiogenese | Arginase, iNOS<br>T-Zell-Hemmung<br>ROS, NO | IL-10, TGF- $\beta$<br>CTLA-4<br>Immuntoleranz | PD-1, TIM-3<br>Geringe Zytotoxizität<br>Zellerschöpfung | NG2A, TIGIT<br>Reduzierte Aktivität<br>Zytokinmangel | Gefäßneubildung<br>Permeabilität<br>Metastaserouten | Kollagen, Fibronectin<br>Laminin, Proteoglykane<br>Struktur & Signal |

„Um den Krebs zu besiegen, müssen wir nicht nur die Tumorzelle treffen, sondern das gesamte Mikromilieu, das sie schützt und nährt.“

## Das Tumor-Mikromilieu

**Der Tumor organisiert seine Umgebung** Besonders faszinierend ist die dynamische Wechselwirkung zwischen Krebszellen und ihrer Umgebung. Tumorzellen verändern aktiv das Gewebe, in dem sie wachsen, während das Mikromilieu gleichzeitig Stoffwechsel, Immunreaktionen, Zellbeweglichkeit und Therapieresistenz beeinflusst. Krebs entsteht dadurch nicht allein aus genetischen Veränderungen einzelner Zellen, sondern innerhalb eines komplexen Netzwerks biologischer Kommunikation.

Wie in Abbildung 7.7, Seite 172 dargestellt, entwickeln Tumoren regelrechte mikroökologische Landschaften aus Sauerstoffmangel, Entzündung, Stoffwechselanpassung und gestörter Gefäßarchitektur. Der Krebs beginnt gewissermaßen damit, seinen eigenen biologischen Lebensraum umzubauen.

Eine zentrale Rolle spielen dabei chronische Entzündungsprozesse. Viele Tumoren entstehen in dauerhaft entzündeten Geweben oder erzeugen selbst entzündliche Mikromilieus (Grivennikov u. a., 2010). Entzündungsmediatoren fördern Zellproliferation, Gefäßbildung, oxidativen Stress und Gewebeumbau, während gleichzeitig bestimmte Immunreaktionen unterdrückt werden.

Das Tumormikromilieu wird dadurch zu einem permanent aktivierten biologischen Stressraum.

**Wenn das Immunsystem umprogrammiert wird** Besonders wichtig sind tumorassoziierte Makrophagen. Diese Immunzellen besitzen ursprünglich die Aufgabe, beschädigte Strukturen zu beseitigen und Gewebe zu schützen. Innerhalb vieler Tumoren verändern sie jedoch ihre Funktion und unterstützen unbeabsichtigt Tumorwachstum, Angiogenese, Metastasierung und Immunsuppression (Quail & Joyce, 2013).

Tumoren programmieren gewissermaßen Teile des Immunsystems um und integrieren sie in ihr eigenes mikroökologisches Netzwerk. Der biologische Sicherheitsapparat beginnt dadurch zunehmend im Sinne des Tumors zu arbeiten.

Auch Fibroblasten spielen eine zentrale Rolle. Diese Zellen stabilisieren normalerweise die extrazelluläre Matrix und organisieren Gewebestrukturen. Tumorassoziierte Fibroblasten verändern jedoch häufig die Gewebearchitektur, mechanische Spannungen, Stoffwechselbedingungen und entzündliche Sign Räume. Das Tumorgewebe entwickelt dadurch seine eigene physikalische Infrastruktur.

**Hypoxie und Übersäuerung** Besonders charakteristisch für viele Tumormilieus sind Sauerstoffmangel und Übersäuerung. Durch schnelles Wachstum und chaotische Gefäßstrukturen entstehen hypoxische Regionen, innerhalb derer Krebszellen ihren Stoffwechsel tiefgreifend verändern (Semenza, 2003). Verstärkte Glykolyse führt gleichzeitig zur Produktion großer Mengen Laktat und verändert die chemische Umgebung des Gewebes erheblich.

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

Im Zusammenspiel aus Hypoxie und metabolischer Umprogrammierung entstehen jene biologischen Stressräume, die in Abbildung 7.7, Seite 172 sichtbar werden. Immunzellen werden gehemmt, entzündliche Prozesse verschoben und invasive Eigenschaften von Tumorzellen zusätzlich verstärkt (Gatenby & Gillies, 2004).

Man könnte sagen: Der Tumor erzeugt seine eigene innere Parallelökonomie mit alternativen Energieflüssen, improvisierten Versorgungssystemen und dauerhaft aktivierten Notfallprogrammen.

*(Siehe Abb. 2.3, Seite 32.)*

**Metabolische Dynamik des Tumormilieus** Auch die mitochondriale Funktion vieler Zellen innerhalb des Tumormilieus verändert sich erheblich. Nicht nur Krebszellen selbst, sondern auch Immunzellen und stromale Zellen passen ihren Stoffwechsel an hypoxische und entzündliche Bedingungen an (Buck u. a., 2015). Das gesamte Mikromilieu entwickelt dadurch eine eigene metabolische Dynamik.

Tumorzellen kommunizieren kontinuierlich mit ihrer Umgebung über Zytokine, Wachstumsfaktoren, extrazelluläre Vesikel und komplexe biochemische Signalnetzwerke. Diese Kommunikation beeinflusst nicht nur lokales Gewebe, sondern teilweise den gesamten Organismus. Stoffwechselprozesse, Appetitregulation, Muskelabbau und systemische Entzündungen können dadurch tiefgreifend verändert werden (K. C. Fearon u. a., 2012). Krebs erscheint damit zunehmend als systemische Erkrankung biologischer Kommunikation.

**Therapieresistenz und mikroökologische Schutzräume** Auch Therapieresistenzen hängen eng mit dem Tumormikromilieu zusammen. Sauerstoffmangel, entzündliche Prozesse und metabolische Anpassungen können Tumorzellen widerstandsfähiger gegenüber Chemotherapie, Bestrahlung, Immuntherapie und zielgerichteten Medikamenten machen.

Moderne Onkologie versucht deshalb zunehmend nicht nur Tumorzellen selbst, sondern auch deren biologisches Umfeld therapeutisch zu beeinflussen. Im Fokus stehen unter anderem Immuntherapien, antiangiogene Strategien, entzündungshemmende Ansätze, metabolische Interventionen sowie Eingriffe in Signalnetzwerke des Mikromilieus.

Auch Ernährung, Bewegung, Schlaf, Stressregulation und Stoffwechselgesundheit könnten indirekt Einfluss auf diese mikroökologischen Prozesse besitzen.

Das Konzept des Tumormikromilieus verändert dadurch den Blick auf Krebs grundlegend. Tumoren erscheinen nicht länger als isolierte Zellpopulationen, sondern als hochdynamische biologische Ökosysteme, in denen Stoffwechsel, Immunologie, Entzündung, Sauerstoffversorgung und Zellkommunikation untrennbar miteinander verwoben sind.

Krebs entwickelt sich dadurch zunehmend als Störung biologischer Gesamtorganisation. Nicht einzelne Moleküle allein entscheiden über Tumorwachstum, sondern das Zusammenspiel komplexer metabolischer und mikroökologischer Netzwerke innerhalb lebender Systeme.

### 7.8. Angiogenese

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Tumorangiogenese=Angiogenese(Tumor)

VEGF=Signalstoff(Gefäßwachstum)

Kapillare=Gefäß(Kleinste)

Ein Tumor hat ein Problem. Anfangs wächst er still und beinahe unsichtbar irgendwo zwischen den geordneten Bezirken des Körpers. Ein paar entgleiste Zellen, mehr nicht. Doch irgendwann reicht die vorhandene Versorgung nicht mehr aus. Sauerstoff wird knapp, Glukose kommt nur noch stoßweise an und im Inneren beginnt gewissermaßen der metabolische Ausnahmezustand.

Genau dann startet einer der entscheidenden Prozesse moderner Tumorbilogie: die Angiogenese.

#### Was bedeutet Angiogenese?

Angiogenese ist die Bildung neuer Blutgefäße. Tumore brauchen Nährstoffe und Sauerstoff; sie können Signale aussenden, die Gefäßwachstum anregen. Das hilft dem Tumor — und ist zugleich ein Angriffspunkt mancher Medikamente („Anti-Angiogenese“). Für Betroffene: ein Fachbegriff im Pathologie-/Onkologiegespräch, der erklärt, warum manche Therapien gezielt die Gefäßversorgung stören.

Darunter versteht man die Neubildung von Blutgefäßen. Der Tumor beginnt gewissermaßen, sich seine eigene Infrastruktur zu bauen. Mitten im biologischen Niemandsland entstehen plötzlich neue Versorgungslinien, Rohrsysteme und improvisierte Transportwege. Allerdings nicht ordentlich geplant wie in einem modernen Industriepark, sondern eher wie eine hektisch zusammengezimmerte Schwarzbau-Siedlung irgendwo hinter dem Stoffwechsel-Hinterhof des Organismus.

**Der biologische Notruf des Tumors** Der Auslöser dafür ist meist Sauerstoffmangel. Sobald bestimmte Tumorregionen hypoxisch werden, stabilisiert sich der Hypoxia-Inducible Factor HIF-1 $\alpha$  (Semenza, 2003). Dieser molekulare Alarmmechanismus aktiviert eine ganze Kaskade von Signalstoffen. Besonders wichtig ist VEGF,

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

der *Vascular Endothelial Growth Factor* (Ferrara, 2004). Vereinfacht gesagt schickt der Tumor damit eine Art biologischen Notruf ins umliegende Gewebe: „Wir brauchen neue Leitungen.“

Und der Körper antwortet tatsächlich. Endothelzellen beginnen auszuwandern, neue Kapillaren sprossen aus bestehenden Gefäßen hervor und das Gewebe wird umgebaut. Für kurze Zeit wirkt das beinahe wie ein Reparaturprozess. Doch der Tumor kapert dieses System zunehmend für seine eigenen Zwecke.

(Siehe Abb. 7.5, Seite 164.)

Wie in Abbildung 7.5, Seite 164 sichtbar wird, entstehen dabei häufig hochgradig instabile und chaotische Gefäßarchitekturen. Blutgefäße verlaufen unregelmäßig, sind undicht und schlecht organisiert (Jain, 2005). Das Versorgungssystem erinnert dadurch weniger an präzise biologische Ingenieurskunst als an einen Rohrleitungsplan, der nachts unter maximalem Zeitdruck improvisiert wurde.

**Die chaotische Infrastruktur des Tumors** Gerade diese instabile Gefäßstruktur erzeugt wiederum neue Sauerstoffmangelzonen, entzündliche Räume und metabolische Stressgebiete. Der Tumor erschafft dadurch seine eigene mikroskopische Landschaft aus Sauerstoffinseln, Glukoseströmen, sauren Stoffwechselräumen und provisorischen Gefäßkorridoren.

Diese mikroökologische Umgebung beeinflusst unmittelbar das Verhalten der Krebszellen. Hypoxische Regionen fördern metabolische Anpassung, Zellbeweglichkeit und Therapieresistenz. Gleichzeitig verändern Übersäuerung und Entzündungsprozesse das gesamte Tumormikromilieu.

Man könnte sagen: Der Tumor baut nicht einfach nur neue Leitungen. Er erschafft Schritt für Schritt eine eigene biologische Parallelstadt mit improvisierter Versorgung, chaotischer Infrastruktur und permanentem Ausnahmebetrieb.

**Angiogenese und Metastasierung** Besonders problematisch ist, dass Angiogenese nicht nur Wachstum ermöglicht, sondern gleichzeitig die Voraussetzungen für Metastasierung verbessert. Neue Blutgefäße schaffen zusätzliche „Ausfallstraßen“, über die Tumorzellen in andere Regionen des Körpers gelangen können (Hanahan, 2022). Der Tumor errichtet damit gewissermaßen seine eigenen Handels- und Fluchtrouten innerhalb des Organismus.

Auch Stoffwechselprozesse spielen hierbei eine zentrale Rolle. Die Bildung neuer Gefäße benötigt enorme Mengen Energie und biochemischer Baustoffe. Gleichzeitig verändern Tumorzellen unter hypoxischen Bedingungen ihren gesamten Energiemodus. Glykolyse nimmt zu, Laktat sammelt sich an und das Milieu übersäuert (Gatenby & Gillies, 2004).

Viele Forscher sprechen inzwischen von regelrechten metabolischen Ökozonen innerhalb eines Tumors.

**Immunsystem und mikroökologische Schutzräume** Auch das Immunsystem wird erheblich beeinflusst. Chaotische Gefäßstrukturen erschweren häufig das Eindringen bestimmter Immunzellen ins Tumorgewebe. Gleichzeitig fördern hypoxische und entzündliche Bedingungen immunsuppressive Signalmräume (Noman u. a., 2015).

Der Tumor entwickelt dadurch zunehmend eine Art biologischer Schattenwirtschaft mit eigenen Schutzmechanismen, alternativen Versorgungssystemen und metabolischen Notfallprogrammen.

Moderne Krebstherapien versuchen deshalb gezielt, die Angiogenese zu blockieren. Anti-VEGF-Medikamente sollen die Neubildung von Blutgefäßen hemmen und dem Tumor gewissermaßen den Nachschub abschneiden (Ferrara, 2004). Die Idee erscheint zunächst logisch: Wenn der Tumor keine Versorgung mehr erhält, müsste er verhungern. Ganz so einfach verhält sich Krebs jedoch selten. Viele Tumoren reagieren erstaunlich flexibel. Manche aktivieren alternative Signalwege, andere reorganisieren ihren Stoffwechsel oder nutzen bestehende Gefäßsysteme effizienter. Krebs verhält sich eben weniger wie eine starre Maschine als vielmehr wie ein improvisationsbegabtes biologisches Schmugglernetzwerk, das ständig neue Umleitungen findet.

**Die metabolische Landschaft des Tumors** Auch Ernährung, Entzündungsprozesse und metabolische Faktoren könnten indirekt Einfluss auf angiogene Prozesse besitzen. Chronisch erhöhte Insulinspiegel, entzündungsfördernde Stoffwechselbedingungen oder oxidativer Stress verändern zahlreiche Wachstums- und Signalwege des Gewebes (DeBerardinis & Chandel, 2016). Der Tumor wächst dadurch nicht isoliert, sondern innerhalb eines komplexen biologischen Versorgungssystems.

Die Erforschung der Angiogenese hat den Blick auf Krebs grundlegend verändert. Tumoren erscheinen heute weniger wie passive Zellhaufen und zunehmend wie adaptive Organismen, die aktiv ihre Umwelt umbauen, Versorgungssysteme erschaffen, Stoffwechselräume organisieren und biologische Infrastrukturen kapern.

Krebs wird damit immer stärker als dynamische metabolische Landschaft sichtbar – ein chaotisches biologisches Territorium zwischen Sauerstoffmangel, Entzündung, Energiehunger und improvisierter Selbstversorgung.

### 7.9. Apoptose, Autophagie und Telomere

Neue Begriffe dieses Abschnitts

Telomer=Schutzhülle (Chromosom)

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

ProgrammierterZelltod=Prozess(Zellabbau)

Reparatur=Wiederherstellung(Zelle)

Der menschliche Körper ist kein starres Gebilde, sondern eher eine gigantische Dauerbaustelle mit angeschlossenem Rückbauunternehmen. Jeden Tag sterben Milliarden Zellen, werden ersetzt, recycelt oder zerlegt. Alte Strukturen verschwinden, neue entstehen. Normalerweise funktioniert dieses biologische Kommen und Gehen erstaunlich präzise. Krebs beginnt häufig genau dort, wo diese Ordnung langsam aus dem Takt gerät.

Besonders wichtig ist dabei die Apoptose – der programmierte Zelltod. Man könnte sagen: Jede gesunde Zelle trägt normalerweise eine Art internen Notausschalter in sich. Wenn Schäden zu groß werden, der Stoffwechsel kollabiert oder das Erbgut instabil wird, zieht die Zelle gewissermaßen selbst den Stecker (Elmore, 2007). Das ist kein tragischer Unfall, sondern ein hochkontrollierter Schutzmechanismus des Organismus.

**Wenn der innere Notausschalter versagt** Im gesunden Gewebe funktioniert die Apoptose meist zuverlässig. Defekte Zellen verschwinden, bevor sie größeren Schaden anrichten können. Krebszellen dagegen lernen häufig, diese Selbstzerstörung zu umgehen. Sie manipulieren Signalwege, blockieren apoptotische Programme und ignorieren gewissermaßen die inneren Räumungsbefehle des Körpers (Hanahan & Weinberg, 2011).

Geraten dadurch zentrale Sicherheits- und Kontrollsysteme der Zelle aus dem Gleichgewicht, bleiben beschädigte Strukturen bestehen, fehlerhafte Zellverbände vermehren sich weiter und die biologische Ordnung verliert zunehmend ihre Stabilität.

Man könnte sagen: Die betroffenen Zellen benehmen sich irgendwann wie illegale Dauermieter in einem biologischen Plattenbau, die trotz schwerer Schäden weder ausziehen noch abgerissen werden können.

Besonders eng mit der Apoptose verbunden sind die Mitochondrien. Sie liefern nicht nur Energie, sondern entscheiden auch mit darüber, ob eine Zelle weiterlebt oder kontrolliert zerlegt wird (Green u. a., 2014). Gerät die mitochondriale Regulation aus dem Gleichgewicht, kann die gesamte zelluläre Sicherheitsarchitektur instabil werden.

Chronische Entzündungen, oxidativer Stress, toxische Belastungen oder dauerhafte Überzuckerung verändern dabei zahlreiche Signalwege der Zellkontrolle. Die biologische Lage erinnert dann manchmal an ein Kraftwerk, dessen Warnlampen längst rot blinken, während die Leitstelle trotzdem weiter Volllast fährt.

**Autophagie – der Recyclinghof der Zelle** Neben der Apoptose besitzt der Körper noch ein weiteres bemerkenswertes System: die Autophagie. Der Begriff bedeutet wörtlich „Selbstverdauung“. Dabei zerlegen Zellen beschädigte Bestandteile, recyceln

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

alte Strukturen und gewinnen daraus neue Energie und Baustoffe (B. Levine u. a., 2011).

Autophagie wirkt dadurch wie ein hausinterner Recyclinghof des Organismus. Beschädigte Mitochondrien, fehlerhafte Proteine oder defekte Zellbestandteile werden entfernt, bevor sie größeren Schaden verursachen können. Gerade in Zeiten von Nährstoffmangel oder metabolischem Stress wird dieser Prozess besonders wichtig.

Doch genau hier beginnt die Ambivalenz der Tumorbilogie. Krebszellen nutzen diese Mechanismen teilweise ebenfalls für ihre eigenen Zwecke. Manche Tumoren aktivieren Autophagie gezielt, um Hungerphasen zu überstehen, Chemotherapien zu tolerieren oder beschädigte Zellbestandteile effizient zu recyceln.

Der Tumor entwickelt dadurch eine bemerkenswerte Fähigkeit improvisierter Stoffwechselwirtschaft. Fast wie ein alter DDR-Werkstattmeister, der aus drei defekten Ersatzteilen irgendwie doch noch einen laufenden Generator zusammensetzt.

# FASTEN UND AUTOPHAGIE

## DER ZELLULÄRE WARTUNGSMODUS UND KREBS-SCHUTZMECHANISMUS

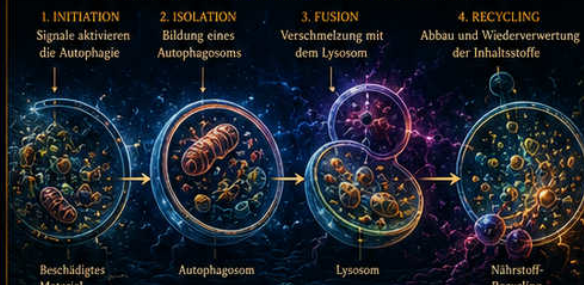
Fasten ist kein Verzicht – es ist eine Rückkehr zur biologischen Intelligenz.  
Es aktiviert die Selbstreinigung, stärkt die Zellkraftwerke, reduziert Entzündung und entzieht Tumoren ihre Energie.

### WAS IST AUTOPHAGIE?

Autophagie bedeutet „Selbstverzehr“ – ein hochintelligenter Recycling-Prozess, bei dem die Zelle beschädigte Bestandteile abbaut und wiederverwertet.

- Entfernung beschädigter Organellen und Proteine
- Recycling von Bausteinen (Nährstoffgewinnung)
- Qualitätskontrolle und Zellschutz
- Reduktion von Entzündung und oxidativem Stress
- Schutz vor Krebsentstehung und Alterungsprozessen

### AUTOPHAGIE – DER ZELLULÄRE RECYCLING-KREISLAUF



AKTIVIERT DURCH FASTEN – HEMMT TUMORENTWICKLUNG

- Zellreinigung
- Energie-Erneuerung
- Entzündungshemmung
- Immunstärkung
- Krebs-Prävention
- Langlebigkeit und Vitalität

### WANN WIRD AUTOPHAGIE AKTIVIERT?

- Fasten (≥12–16 h)
- Sinkender Insulinspiegel steigt
- Kalorienreduktion
- Energieknappheit als Aktivierungssignal
- Bewegung v. a. Ausdauer und Intervalltraining
- Kältereize z. B. Kalt duschen, Eisbäder
- Polyphenole & pflanzliche Bitterstoffe z. B. Resveratrol, EGCG, Curcumin
- Ausreichend Schlaf
- Tiefschlaf verstärkt Autophagie

### FASTENFORMEN UND IHRE WIRKUNG

- 12–16 h Intervallfasten  
Täglicher Reset – sanfte Autophagie-Aktivierung
- 16–24 h Fasten  
Deutliche Steigerung der Zellreinigungsprozesse
- 24–48 h Fasten  
Tiefe Zellreinigung, Stammzell-Aktivierung, Immunsystem-Reset
- 3–5 Tage Fasten  
Maximale Autophagie, Regeneration, Entzündungsreduktion

Regelmäßigkeit ist wichtiger als Dauer – Kontinuität heilt.

### ZELLE IM ERNÄHRTEN ZUSTAND vs. ZELLE IM FASTENZUSTAND



### AUTOPHAGIE UND KREBS

AUTOPHAGIE SCHÜTZT in der gesunden Zelle:

- ✓ Entfernt DNA-Schäden
- ✓ Verhindert Mutationsakkumulation
- ✓ Unterstützt Immunsurveillance
- ✓ Stoppt frühe Tumorentwicklung
- ✓ Erhält Zellintegrität

TUMOREN HASSEN AUTOPHAGIE:

- ✗ Entzieht ihnen Energie und Baustoffe
- ✗ Verhindert ihr Überleben unter Stress
- ✗ Macht sie empfindlicher für Therapien
- ✗ Reduziert Metastasenbildung

### MOLEKULARER MECHANISMUS DER AUTOPHAGIE-AKTIVIERUNG DURCH FASTEN



### WAS HEMMT AUTOPHAGIE?

- ✗ Dauerhafte Überernährung
- ✗ Hoher Insulinspiegel
- ✗ Zucker und Weißmehl
- ✗ Alkohol
- ✗ Chronischer Stress
- ✗ Zu wenig Schlaf
- ✗ Umweltgifte und Toxine

### PRAKTISCHER FASTEN-UND-AUTOPHAGIE-PLAN

| BEGINNE SANFT                                                                                       | STEIGERE LANGSAM                                                                               | UNTERSTÜTZE DEINEN KÖRPER                                                               | ISS BEWUSST IN DER ESSPHASE                                                                              | REGELMÄSSIGKEIT SCHLÄGT EXTREME                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Starte mit 12–16 h Fastenfenster (z. B. 18–8). Trinke nur Wasser, Kräutertee oder schwarzen Kaffee. | Erhöhe schrittweise auf 16–24 h 1–2 Mal pro Woche. Höre auf deinen Körper und bleibe flexibel. | Bewegung, Kälte, Schlaf und natürliche Nährstoffe verstärken die Autophagie nachhaltig. | Vollwertig, pflanzlich, proteinreich, wenig Zucker – so bleibt Insulin niedrig und die Zellen glücklich. | 3–5 Fastentage pro Woche bringen mehr als seltene Extremlasten. Konstanz ist der Schlüssel. |

### ZEICHEN AKTIVER AUTOPHAGIE

- ✓ Mehr Energie und mentale Klarheit
- ✓ Besserer Schlaf
- ✓ Weniger Entzündungszeichen
- ✓ Stabilerer Blutzucker
- ✓ Verbesserte Haut und Ausstrahlung
- ✓ Stärkere Immunabwehr
- ✓ Abnehmende Heißhungerattacken

### AUTOPHAGIE UND THERAPIEN

Autophagie kann die Wirksamkeit von Krebs-Therapien erhöhen:

- ✓ Sensibilisiert Tumorzellen
- ✓ Reduziert Nebenwirkungen
- ✓ Unterstützt gesunde Zellen
- ✓ Fördert Regeneration
- ✓ Wichtig bei Chemo, Bestrahlung und Immuntherapie

### WAS PASSIERT IM KÖRPER WÄHREND DES FASTENS?



### DIE KERNBOTSCHAFT

Fasten ist eine uralte Heilkraft, die unsere Zellen verstehen.

Aktiviere deine Autophagie – reinige deine Zellen – schütze dich vor Krebs – und erschaffe Gesundheit von innen heraus.

FASTEN IST FREIHEIT. AUTOPHAGIE IST INTELLIGENZ. REGENERATION IST LEBEN.

Fasten und Autophagie

**Fasten, Stoffwechsel und metabolische Anpassung** Besonders intensiv erforscht werden deshalb Zusammenhänge zwischen Fasten, Ketose, Kalorienrestriktion, Autophagie und metabolischer Tumoranpassung. Einige Studien deuten darauf hin, dass kontrollierte Stoffwechselbelastungen bestimmte Reparatur- und Recyclingprozesse positiv beeinflussen könnten (Longo & Mattson, 2014). Gleichzeitig bleibt vieles wissenschaftlich noch offen und teilweise kontrovers diskutiert.

Wie in Abbildung 7.9, Seite 180 dargestellt, greifen dabei Stoffwechsel, Recyclingmechanismen und Zellregulation eng ineinander. Der Organismus reagiert auf Energieknappheit keineswegs passiv, sondern aktiviert komplexe Überlebens- und Reparaturprogramme.

**Telomere und biologischer Verschleißschutz** Ein weiterer zentraler Faktor sind die Telomere. Dabei handelt es sich um Schutzkappen an den Enden der Chromosomen. Man kann sie sich ein wenig wie die Kunststoffenden alter Schnürsenkel vorstellen: Solange sie intakt bleiben, fransen die Chromosomen nicht aus (Blackburn, 2001).

Mit jeder Zellteilung verkürzen sich diese Telomere jedoch. Irgendwann erreicht die Zelle eine biologische Grenze und verliert ihre Teilungsfähigkeit. Dieser Mechanismus schützt den Organismus normalerweise vor unkontrolliertem Wachstum.

Viele Krebszellen umgehen allerdings auch dieses Problem. Sie aktivieren häufig das Enzym Telomerase, das die Telomere wieder verlängert (Shay & Wright, 2011). Dadurch gewinnen Tumorzellen gewissermaßen eine Art biologischen Dauerbetrieb. Der körpereigene Verschleißschutz wird ausgehebelt.

Die Folge ist eine gefährliche Kombination: Beschädigte Zellen sterben nicht mehr zuverlässig ab, fehlerhafte Strukturen bleiben bestehen und metabolische Stresssysteme geraten zunehmend außer Kontrolle.

**Die Wartungsabteilungen des Körpers** Krebs erscheint dadurch immer weniger wie ein einzelner Defekt und zunehmend wie eine tiefgreifende Störung biologischer Wartungs-, Reparatur- und Rückbausysteme.

Die moderne Tumorforschung beginnt deshalb zu verstehen, dass Gesundheit nicht allein bedeutet, neue Zellen aufzubauen. Genauso wichtig ist die Fähigkeit des Organismus, beschädigte Strukturen rechtzeitig zu erkennen, metabolischen Müll zu beseitigen, defekte Zellen zu entfernen und biologische Ordnung ständig neu zu stabilisieren.

Apoptose, Autophagie und Telomere bilden dabei gewissermaßen die großen Wartungsabteilungen des Körpers. Wenn diese Systeme dauerhaft überlastet, manipuliert oder umgangen werden, entsteht langsam jene chaotische metabolische Schattenwelt, innerhalb derer Tumoren gedeihen können.

## 7.10. Hormone, Enzyme und Transkriptionsfaktoren

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Hormon=Botenstoff (Körper)

Insulin=Hormon (Zuckerregulation)

Enzym=Protein (Stoffumwandlung)

Transkriptionsfaktor=Schalter (Genaktivität)

Signalweg=Kette (Zellbotschaft)

Wenn man Krebs verstehen will, reicht es nicht, nur auf Tumorzellen zu schauen. Man muss den gesamten biologischen Maschinenraum betrachten. Und der arbeitet selten still und ordentlich wie ein frisch gewartetes Schweizer Uhrwerk. Eher wie ein gigantisches Chemiekombinat kurz vor Schichtwechsel: Überall Signale, Botenstoffe, Rückkopplungen, Druckleitungen, Notprogramme und hektische Reparaturtrupps.

Im Zentrum dieser inneren Betriebssteuerung stehen Hormone, Enzyme und Transkriptionsfaktoren. Sie regeln gewissermaßen den Verkehr im Stoffwechselstaat des Körpers. Ohne sie gäbe es keine koordinierte Zellteilung, keine Energieverteilung, keine Immunreaktion und keine Anpassung an Belastungen.

**Hormone als biologische Fernschreiben** Hormone transportieren Informationen über den Blutkreislauf und beeinflussen entfernte Gewebe. Besonders wichtig für die Tumorbilogie sind Insulin, IGF-1, Östrogene, Testosteron, Cortisol sowie zahlreiche Wachstumsfaktoren. Viele dieser Signale greifen direkt in Zellwachstum, Stoffwechsel und Regeneration ein (Pollak, 2008).

Besonders Insulin spielt in der metabolischen Krebsforschung eine zunehmend wichtige Rolle. Ursprünglich dient es dazu, Glukose aus dem Blut in die Zellen zu transportieren. Gleichzeitig wirkt Insulin jedoch auch als starkes Wachstumssignal. Chronisch erhöhte Insulinspiegel können zahlreiche Signalwege aktivieren, die Zellteilung und Tumorstadium begünstigen (Vigneri u. a., 2009).

Man könnte sagen: Der Körper glaubt bei dauerhaftem Zuckerüberschuss irgendwann, überall müsse gebaut, erweitert und vermehrt werden. Die biologische Bauleitung gerät auf Daueralarm.

Eng damit verbunden ist IGF-1, der insulinähnliche Wachstumsfaktor. Dieses Signalprotein beeinflusst Zellproliferation, Reparaturmechanismen, Stoffwechsel sowie apoptotische Prozesse. Viele Tumoren nutzen genau diese Kommunikationswege für ihr eigenes Wachstum.

Wie in Abbildung 8.1, Seite 191 sichtbar wird, entstehen dadurch hochkomplexe hormonelle Signalräume, innerhalb derer Stoffwechsel, Zellteilung und Tumorbilogie eng miteinander verflochten sind.

**Die enzymatische Schattenökonomie der Tumoren** Besonders spannend wird die Sache bei den Enzymen. Diese biologischen Spezialarbeiter treiben nahezu jede chemische Reaktion des Körpers an. Ohne Enzyme würde der gesamte Stoffwechsel praktisch stillstehen.

Krebszellen verändern gezielt ihren Zuckerstoffwechsel, den Fettsäurestoffwechsel, mitochondriale Signalwege, Entgiftungsmechanismen und DNA-Reparaturprozesse. Viele Tumoren bauen sich dadurch ihre eigene improvisierte Stoffwechselökonomie auf.

Otto Warburg beobachtete bereits früh, dass Krebszellen bestimmte Enzymsysteme der Glykolyse massiv hochfahren (Warburg, 1956). Moderne Forschung bestätigt heute, dass Tumoren ihren gesamten enzymatischen Maschinenpark umbauen können, um schneller Energie bereitzustellen, Baustoffe für Zellteilung zu produzieren, oxidativen Stress abzufangen und sich an Sauerstoffmangel anzupassen.

Das Ganze erinnert manchmal an ein altes Kraftwerk, in dem plötzlich sämtliche Notaggregate gleichzeitig angeworfen werden.

(Siehe Abb. 7.4, Seite 161.)

**Die Betriebsleiter der Zellfabriken** Noch tiefer im biologischen Maschinenraum arbeiten die sogenannten Transkriptionsfaktoren. Sie bestimmen, welche Gene aktiviert oder abgeschaltet werden. Man könnte sie sich wie die Betriebsleiter der Zellfabriken vorstellen. Sie entscheiden darüber, welche Produktionslinien gerade laufen dürfen.

Besonders bekannt sind HIF-1 $\alpha$  bei Sauerstoffmangel, NF- $\kappa$ B bei Entzündungen, MYC bei Zellwachstum sowie p53 als Wächter genetischer Stabilität (Hanahan, 2022).

Geraten diese Systeme aus dem Gleichgewicht, verändert sich die gesamte innere Organisationsstruktur der Zelle. NF- $\kappa$ B etwa spielt eine wichtige Rolle bei chronischen Entzündungen. Dauerhafte Aktivierung kann Zellproliferation, Überlebenssignale, Angiogenese und entzündliche Tumormilieus fördern (Karin, 2006).

Der Organismus befindet sich dann biologisch gewissermaßen in einem permanenten Alarmzustand.

HIF wiederum reagiert auf Sauerstoffmangel und schaltet ganze Notprogramme des Stoffwechsels um. Der Tumor beginnt neue Gefäße zu bauen, Glykolyse hochzufahren und sich an hypoxische Bedingungen anzupassen. Krebs entwickelt dadurch eine Art improvisierten biologischen Überlebensplan für schlechte Zeiten.

**Das Netzwerk der Rückkopplungen** Besonders faszinierend ist, wie eng all diese Systeme miteinander verbunden sind. Hormone beeinflussen Enzyme, Enzyme verändern Stoffwechselprodukte und Stoffwechselprodukte wirken wiederum auf Transkriptionsfaktoren zurück. Entzündungen verändern Hormonsysteme, während Mitochondrien empfindlich auf Sauerstoffmangel und metabolische Belastung reagieren.

Der Körper wirkt dadurch weniger wie eine lineare Maschine und eher wie ein gigantisches biologisches Verhandlungsnetzwerk voller Rückkopplungen, Notprogramme und improvisierter Umleitungen.

Tumorzellen nutzen genau diese Rückkopplungsschleifen für ihre eigene Stabilisierung. Sie kapern Signalwege, reorganisieren Stoffwechselräume und bauen Schritt für Schritt eine eigene metabolische Schattenökonomie innerhalb des Organismus auf.

*(Siehe Abb. 7.3, Seite 157.)*

**Neue therapeutische Perspektiven** Moderne Krebstherapien versuchen deshalb zunehmend, genau diese Signalmräume gezielt zu beeinflussen. Dazu gehören Antihormontherapien, Tyrosinkinasehemmer, Enzyminhibitoren, Immuntherapien sowie metabolische Eingriffe in Stoffwechselwege.

Auch Ernährung, Fasten, Bewegung und Entzündungsregulation könnten indirekt Einfluss auf hormonelle und metabolische Signalnetzwerke besitzen. Die moderne Krebsforschung beginnt zunehmend zu verstehen, wie eng Energieorganisation, Zellkommunikation und biologische Stabilität miteinander verflochten sind.

Die Erforschung von Hormonen, Enzymen und Transkriptionsfaktoren zeigt letztlich, dass Krebs keine isolierte Störung einzelner Gene ist. Vielmehr handelt es sich um eine tiefgreifende Reorganisation biologischer Kommunikations- und Energiesysteme. Tumoren kapern gewissermaßen den inneren Verwaltungsapparat des Körpers und bauen daraus ihre eigene metabolische Schattenökonomie auf.

## Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels

- Krebs entwickelt sich schrittweise aus gestörter Reparatur, Stoffwechselanpassung und Immuntgleisung.
- Mitochondrien und Zellatmung sind zentral für Energieorganisation — nicht nur „Kraftwerke“, sondern Signalzentren.
- Der Warburg-Effekt beschreibt eine häufige Verschiebung des Zuckerstoffwechsels in Tumorzellen.
- Hypoxie und das Tumormikromilieu formen ein entzündliches, sauerstoffarmes Wachstums-klima.

## 7. Entstehung und Tumorbilogie

- Metastasen und Angiogenese zeigen: Tumoren bauen eigene Versorgungs- und Ausbreitungsstrategien.
- Apoptose, Autophagie und Telomere sind Schutz- und Recyclingprogramme — deren Störung begünstigt Fehlwachstum.
- Hormone und Signalwege verbinden Stoffwechsel, Wachstum und Immunregulation im ganzen Organismus.
- Der rote Faden: Krebs als adaptive Störung innerer Regulationsräume, nicht nur als „defekte Zelle“.

### Was Sie konkret tun können

*Orientierung und Selbstorganisation — keine medizinischen Anweisungen.*

- Fragen Sie nach **molekularen Merkmalen** Ihres Tumors (Rezeptoren, Mutationsprofile) — sie beeinflussen Therapieoptionen.
- Lassen Sie sich **Bildgebung** erklären: Was bedeutet „aktiver Stoffwechsel“ in einem PET-Befund?
- Notieren Sie Begriffe aus diesem Kapitel, die im Arztbrief vorkommen — und klären Sie sie im nächsten Termin.
- Vermeiden Sie Selbstinterpretationen einzelner Laborwerte ohne ärztliche Einordnung.

## 8. Metabolische Vertiefung: Zucker, Entzündung, Mikrobiom

### Ihr Nutzen

Nach diesem Kapitel wissen Sie ...

- Stoffwechselräume und Entzündungsprozesse besser einordnen,
- Mikrobiom und Umweltbelastungen im Gesamtbild sehen,
- Forschungsausblicke von Alltagsentscheidungen trennen.

### Wann ist das wichtig?

Wenn Sie die biologischen Kapitel zu Ernährung und Lebensstil vertiefen möchten.

### Was Sie sich merken sollten

- Vertiefung dient dem Verständnis, nicht der Selbsttherapie.
- Alltagsnahe Hinweise stehen in Teil I.

### Fragen für Ihren Arzt

- Welche dieser Zusammenhänge sind für mich persönlich besprochen worden?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

### Sofort handeln, wenn ...

Kein Notfallkapitel.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

### Vertiefung

Bewegung, Schlaf und Psyche wurden nach Teil I vorgezogen.

## 8.1. Zucker und Glukosestoffwechsel

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Insulinresistenz=Zustand(Hormonstörung)

Kaum ein Stoff besitzt heute einen so schlechten Ruf wie Zucker. Für die einen ist er schlicht Energiequelle. Für die anderen beinahe das weiße Pulver des metabolischen Untergangs. Und irgendwo dazwischen versucht die Wissenschaft mühsam herauszufinden, was im biologischen Maschinenraum tatsächlich passiert.

Denn natürlich braucht der menschliche Körper Glukose. Das Gehirn arbeitet damit, Muskeln verbrennen sie und unzählige Stoffwechselprozesse hängen direkt oder indirekt davon ab. Ohne Zucker würde der gesamte innere Betrieb ziemlich schnell ins Stocken geraten.

Das Problem beginnt deshalb nicht bei der Existenz von Glukose selbst. Problematisch wird vielmehr jene moderne Dauerübersorgung, unter der viele Stoffwechselsysteme heute permanent arbeiten.

**Der Organismus im Brennstoffüberschuss** Viele Menschen leben inzwischen praktisch im dauerhaften Brennstoffüberschuss. Frühstückszucker, Zwischenmahlzeiten, Softdrinks, permanente Insulinspitzen und ständige Verfügbarkeit hochkalorischer Nahrung erzeugen einen Stoffwechselzustand, für den der menschliche Organismus evolutionär vermutlich nie ausgelegt war.

Der Körper arbeitet dabei wie ein riesiges Kraftwerk, dem ständig mehr Brennstoff geliefert wird, obwohl die Turbinen längst unter Hochlast laufen.

Und genau in diesem Umfeld interessiert sich die Krebsforschung zunehmend für den Glukosestoffwechsel.

Denn viele Tumoren besitzen einen enormen Zuckerhunger (Warburg, 1956). Krebszellen verbrauchen häufig große Mengen Glukose und schalten metabolisch auf eine Form der Energiegewinnung um, die Otto Warburg bereits vor fast hundert Jahren beschrieb. Selbst bei ausreichendem Sauerstoff nutzen viele Tumoren verstärkt Glykolyse.

Das wirkt zunächst paradox. Eigentlich wäre die vollständige Energiegewinnung in den Mitochondrien deutlich effizienter. Doch Tumorzellen besitzen andere Prioritäten. Sie benötigen nicht nur Energie, sondern gleichzeitig Baustoffe für Zellteilung, Reparaturprozesse und schnelles Wachstum chaotischer Gewebestrukturen.

Man könnte sagen: Der Tumor arbeitet nicht wie ein sparsames Kraftwerk, sondern eher wie eine völlig überdrehte Großbaustelle mit dauerhaft laufenden Notgeneratoren.

**Insulin als Wachstumssignal** Besonders spannend wird die Rolle von Insulin. Dieses Hormon reguliert nicht nur den Blutzucker, sondern wirkt gleichzeitig als Wachstumssignal (Pollak, 2008). Chronisch erhöhte Insulinspiegel beeinflussen zahlreiche Signalwege, die Zellwachstum, Stoffwechsel und Entzündungsprozesse steuern.

Der Organismus gerät dadurch langfristig in einen Zustand dauerhafter metabolischer Aktivierung. Natürlich bedeutet das nicht automatisch: „Zucker verursacht Krebs.“ So simpel funktioniert Tumorbilogie nicht.

Krebs entsteht niemals aus einem einzigen Faktor allein. Genetik, Entzündungen, Umweltbelastungen, hormonelle Einflüsse und Immunprozesse greifen tief ineinander. Genau deshalb wird die Frage interessant, wie chronische Stoffwechselüberlastung jene biologischen Landschaften verändert, innerhalb derer Tumoren später möglicherweise leichter entstehen können.

Besonders auffällig bleibt die Verbindung zwischen Übergewicht, Insulinresistenz, metabolischem Syndrom und bestimmten Krebsarten (Vigneri u. a., 2009). Der Organismus befindet sich dabei häufig in einem Zustand unterschwelliger Dauerentzündung. Fettgewebe produziert Signalstoffe, Immunreaktionen verändern sich und der gesamte innere Betriebszustand verschiebt sich langsam.

Wie ein überlastetes Leitungssystem, das äußerlich noch funktioniert, intern jedoch längst permanent unter Druck steht.

**Der Krebs verrät sich über seinen Energiebedarf** Interessanterweise nutzen moderne Bildgebungsverfahren genau diesen hohen Glukoseverbrauch vieler Tumoren. Bei der PET-Diagnostik erhalten Patienten markierte Glukoseverbindungen. Besonders stoffwechselaktive Tumorbereiche leuchten dadurch gewissermaßen auf (Hustinx u. a., 2002).

Der Krebs verrät sich also häufig selbst über seinen enormen Energiebedarf.

Gleichzeitig wird rund um Zucker und Krebs unglaublich viel Unsinn verbreitet. Manche Behauptungen klingen beinahe so, als würde jeder Löffel Marmelade sofort Tumorstoffwechsel auslösen. Andere wiederum tun sämtliche metabolischen Zusammenhänge komplett als Mythos ab.

Die Realität ist deutlich komplizierter.

Der menschliche Stoffwechsel funktioniert nicht wie ein Lichtschalter mit nur zwei Zuständen. Eher gleicht er einem gigantischen Netzwerk aus Hormonen, Energieströmen, Entzündungen, Mitochondrien, Immunreaktionen und tausenden chemischen Rückkopplungen.

**Das metabolische Klima des Körpers** Genau deshalb interessiert sich die moderne Forschung zunehmend nicht nur für einzelne Nahrungsmittel, sondern für das gesamte metabolische Klima des Organismus.

Wie stabil arbeitet die Energieversorgung? Wie hoch ist der chronische Entzündungsdruck? Wie flexibel reagieren Mitochondrien? Wie stark schwanken Insulin- und Glukosespiegel über Jahre hinweg?

Denn Krebs entsteht nicht im luftleeren Raum.

Der Tumor wächst mitten im biologischen Versorgungssystem des Körpers. Zwischen Zuckerströmen, Sauerstoffgradienten, Entzündungslandschaften und erschöpften Reparaturmechanismen versucht er, seine eigene metabolische Infrastruktur aufzubauen.

Oder einfacher gesagt: Der Krebs sitzt nicht neben dem Kraftwerk des Körpers. Er hängt direkt am selben Leitungssystem.

## 8.2. Insulin und hormonelle Signlräume

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

IGF1=Signal(Wachstum)

Hyperinsulinaemie=Zustand(Insulinueberschuss)

Signalraum=Struktur(Kommunikation)

Hormone sind merkwürdige Stoffe. Unsichtbar. Lautlos. Und trotzdem können sie ganze biologische Landschaften verändern. Ein winziger chemischer Impuls genügt oft, damit irgendwo im Körper Zellen wachsen, Energie umverteilt wird, Entzündungen aufflammen oder Reparaturprogramme anlaufen.

Man könnte sagen: Hormone funktionieren wie die verborgene Fernsteuerung des inneren Maschinenraums.

Besonders Insulin spielt dabei eine zentrale Rolle. Die meisten Menschen verbinden damit zunächst bloß Blutzucker. Doch Insulin ist weit mehr als eine Art biologischer Türöffner für Glukose. Das Hormon greift tief in Wachstum, Energieorganisation, Fettstoffwechsel, Zellteilung und Signalübertragung ein (Pollak, 2008).

Und genau deshalb interessiert sich die Krebsforschung inzwischen so intensiv dafür.

**Der Organismus im hormonellen Dauerbetrieb** Moderne Lebensweise produziert bei vielen Menschen einen Zustand dauerhafter hormoneller Übersteuerung. Permanente Zwischenmahlzeiten, hoher Zuckerkonsum, Bewegungsmangel und chronischer Kalorienüberschuss halten die Insulinspiegel oft über Jahre hinweg erhöht.

## 8. Metabolische Vertiefung: Zucker, Entzündung, Mikrobiom

Der Körper arbeitet dadurch beinahe wie ein Kraftwerk, dessen Steuerzentrale nie mehr vollständig herunterfährt.

Anfangs kompensiert der Organismus diese Daueraktivität erstaunlich gut. Doch langfristig entstehen Insulinresistenz, chronische Entzündungszustände, metabolischer Stress und tiefgreifende Veränderungen der inneren Signalmräume (Vigneri u. a., 2009).

Wie ein riesiges Leitungssystem, in dem dauerhaft Überdruck herrscht, während die Pumpen trotzdem immer weiterlaufen müssen.

Wie in Abbildung 8.1, Seite 191 sichtbar wird, greifen hormonelle Regulation, Stoffwechsel und Zellwachstum tief ineinander.

**Insulin als Wachstumssignal** Besonders spannend wird die Situation dort, wo Insulin auf Wachstumssysteme trifft.

Denn Insulin kommuniziert eng mit Signalwegen wie IGF-1, dem insulinähnlichen Wachstumsfaktor (Pollak, 2008). Dieser beeinflusst Zellteilung, Reparaturprozesse und Gewebewachstum. Tumorzellen scheinen genau solche Wachstumsräume teilweise gezielt auszunutzen.

Man könnte sagen: Der Krebs klinkt sich heimlich in jene biologischen Steuerleitungen ein, die ursprünglich für Regeneration und Versorgung gedacht waren.

Natürlich bedeutet das nicht: „Hoher Insulinspiegel gleich Krebs.“ So linear funktioniert Biologie nicht.

Krebs entsteht niemals aus einem einzigen Faktor allein. Genetik, Entzündungen, Umweltbelastungen, hormonelle Einflüsse und Immunprozesse greifen tief ineinander. Doch je stärker sich Forschung mit metabolischen Erkrankungen beschäftigt, desto deutlicher werden die Zusammenhänge zwischen Übergewicht, Diabetes, chronischer Hyperinsulinämie und bestimmten Tumorarten.

Der Organismus gerät dabei häufig in einen dauerhaften biologischen Alarmzustand, ohne dass man diesen äußerlich sofort bemerkt.

**Das Fettgewebe als hormonelles Organ** Interessanterweise beeinflussen hormonelle Signalmräume nicht nur Tumorzellen selbst. Auch Entzündungen, Gefäßbildung, Immunreaktionen und mitochondriale Prozesse reagieren empfindlich auf hormonelle Verschiebungen. Der Stoffwechsel beginnt langsam, seine gesamte innere Architektur umzubauen.

Besonders Fettgewebe spielt dabei eine größere Rolle, als viele lange glaubten. Fett ist keineswegs bloß ein passiver Energiespeicher. Es produziert selbst hormonähnliche Signalstoffe und entzündliche Botenmoleküle (Park u. a., 2014).

## 8. Metabolische Vertiefung: Zucker, Entzündung, Mikrobiom



Abbildung 8.1.: Insulin, hormonelle Signalwege und metabolische Steuerungsräume beeinflussen Wachstum, Energieorganisation und Zellkommunikation.

## 8. Metabolische Vertiefung: Zucker, Entzündung, Mikrobiom

Übergewicht verändert dadurch nicht nur die Körperform, sondern das gesamte metabolische Kommunikationssystem. Der Organismus gerät gewissermaßen in einen Zustand chronischer Hintergrundaktivität.

Und genau in solchen biologischen Milieus entstehen offenbar jene instabilen metabolischen Landschaften, innerhalb derer Tumoren leichter Fuß fassen können.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 dargestellt, beeinflussen chronische Stoffwechsel- und Entzündungszustände langfristig die innere Kommunikationsarchitektur biologischer Systeme.

**Hormonabhängige Tumoren** Besonders deutlich zeigen sich solche Zusammenhänge bei hormonabhängigen Krebsarten wie Brustkrebs, Prostatakrebs oder Eierstockkrebs. Dort greifen Stoffwechsel, Hormonsysteme und Zellwachstum besonders eng ineinander.

Der Tumor wächst also nicht isoliert aus einer einzelnen Mutation heraus, sondern mitten innerhalb komplexer biologischer Steuerungsnetze.

Die moderne Forschung beginnt deshalb zunehmend zu verstehen, dass Krebs viel stärker mit inneren Kommunikationsräumen verbunden ist, als klassische Modelle lange angenommen haben.

Der Körper arbeitet eben nicht wie eine Ansammlung einzelner Ersatzteile. Eher gleicht er einem gigantischen Netz aus Signalwegen, Rückkopplungen, Notprogrammen und metabolischen Steuerzentralen.

Und mitten in diesem empfindlichen hormonellen Leitungssystem versucht der Tumor schließlich, seine eigene Infrastruktur aufzubauen – nicht laut und explosionsartig, sondern oft langsam, schleichend und eingebettet in genau jene biologischen Wachstums- und Reparaturprozesse, die den Organismus eigentlich stabil halten sollen.

### 8.3. Entzündung, oxidativer Stress und Zellmilieu

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

FreiesRadikal=Radikal(Reaktivität)

Zellmilieu=Milieu(Zelle)

Entzündungen gehören eigentlich zu den genialsten Schutzmechanismen des Körpers. Sobald irgendwo Gefahr auftaucht, beginnt der Organismus sofort mit Gegenmaßnahmen: Immunzellen rücken an, Gefäße verändern sich, Reparaturprogramme laufen an und beschädigtes Gewebe soll möglichst schnell kontrolliert werden.

Kurzfristig funktioniert dieses System erstaunlich gut. Problematisch wird es erst dann, wenn der Alarmzustand nicht mehr endet. Genau dort beginnt jene seltsame biologische Grauzone, auf die moderne Krebsforschung heute immer häufiger blickt.

**Der Organismus im Daueralarm** Chronische Entzündungen verändern das gesamte innere Klima des Körpers (Grivennikov u. a., 2010). Nicht laut. Nicht plötzlich. Eher wie dauerhafte Hitze in einem überlasteten Maschinenraum, in dem ständig kleine Warnlampen flackern, Ventile pfeifen und Reparaturtrupps im Dauereinsatz unterwegs sind.

Der Organismus arbeitet dadurch permanent unter Stress.

Besonders spannend wird dabei der sogenannte oxidative Stress. Bei vielen Stoffwechselprozessen entstehen aggressive Sauerstoffverbindungen – freie Radikale, die Zellen und DNA schädigen können (Trachootham u. a., 2009). Normalerweise besitzt der Körper hochkomplexe Schutzsysteme dagegen. Antioxidative Enzyme, Reparaturmechanismen und Entgiftungsprozesse halten die Lage meist erstaunlich stabil.

Doch unter chronischer Belastung geraten diese Systeme irgendwann an ihre Grenzen. Rauchen, Dauerstress, Schadstoffe, Übergewicht, chronische Infektionen, Schlafmangel oder schlechte Ernährung erzeugen über Jahre hinweg unzählige kleine biochemische Störfeuer im inneren Betriebszustand des Körpers.

Man könnte sagen: Der biologische Maschinenraum läuft irgendwann nicht mehr sauber, sondern permanent leicht überhitzt.

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 sichtbar wird, entstehen unter dauerhafter Belastung komplexe Stress- und Reparaturprozesse innerhalb biologischer Gewebelandschaften.

**Das Tumormikromilieu als Ausnahmezone** Und genau in solchen Milieus verändert sich das Verhalten von Zellen. Reparaturprozesse werden ungenauer, Signalwege chaotischer und Immunreaktionen verlieren an Präzision. Gleichzeitig entstehen neue Wachstumsreize, Gefäßbildung nimmt zu und manche Zellpopulationen beginnen, sich an den Dauerstress anzupassen.

Der Tumor wächst also nicht isoliert im luftleeren Raum. Er entwickelt sich mitten in einem bereits gestörten mikrobiologischen Umfeld.

Besonders faszinierend bleibt dabei die Rolle des Zellmilieus. Lange Zeit betrachtete man Krebs hauptsächlich als Problem einzelner Mutationen. Heute wird immer deutlicher, dass auch die Umgebung der Zellen enormen Einfluss besitzt: Sauerstoffversorgung, Entzündungsstatus, Nährstoffverfügbarkeit, Immunaktivität und Stoffwechselzustand greifen tief ineinander.

## 8. Metabolische Vertiefung: Zucker, Entzündung, Mikrobiom



Abbildung 8.2.: Chronischer oxidativer Stress belastet Reparaturmechanismen, Zellregulation und metabolische Stabilität biologischer Systeme.

Wie in einer Stadt reicht es eben nicht, nur einzelne Häuser zu betrachten. Entscheidend ist auch, wie Versorgung, Verkehr, Energie, Abwasser und Infrastruktur insgesamt funktionieren.

Genau deshalb interessieren sich viele Forscher zunehmend für das sogenannte Tumormikromilieu (Hanahan, 2022). Manche Krebszellen bauen regelrechte entzündliche Nischen auf, innerhalb derer Immunzellen fehlgesteuert werden, Gefäße chaotisch wachsen und metabolische Stressräume entstehen.

Der Tumor erschafft sich gewissermaßen seine eigene kleine Ausnahmezone innerhalb des Körpers.

Wie in Abbildung 8.3, Seite 196 dargestellt, entstehen innerhalb chronisch belasteter Gewebe komplexe entzündliche und metabolische Ausnahmezonen.

**Mitochondrien unter Dauerbelastung** Interessanterweise reagieren Mitochondrien besonders empfindlich auf chronische Entzündungen und oxidativen Stress. Die biologischen Kraftwerke der Zellen geraten dadurch zunehmend unter Druck. Energieproduktion wird instabiler, Reparaturprogramme ermüden und die gesamte innere Versorgungslage verschiebt sich langsam.

Wie alte Generatoren, die jahrelang unter Dauerlast liefen und irgendwann anfangen zu flackern.

Auch das Immunsystem verändert sich unter chronischer Entzündung. Anfangs arbeitet es hochaktiv, später häufig erschöpft oder fehlgesteuert. Manche Immunzellen unterstützen paradoxerweise sogar das Tumorstadium, indem sie entzündliche Signalmilieus aufrechterhalten oder Gefäßbildung fördern.

Die Grenzen zwischen Schutzreaktion und Krankheitsverstärkung beginnen dadurch langsam zu verschwimmen.

**Das biologische Klima der Erkrankung** Genau deshalb tauchen in der modernen Krebsforschung immer häufiger Fragen auf, die früher eher am Rand standen: Wie beeinflusst chronischer Stress das Tumormilieu? Welche Rolle spielen Schlaf und Regeneration? Wie verändern Ernährung und Stoffwechsel entzündliche Landschaften? Und warum bleiben manche Organismen trotz ähnlicher Belastungen erstaunlich stabil, während andere biologisch entgleisen?

Klare Antworten existieren darauf oft noch nicht.

Doch eines wird zunehmend sichtbar: Krebs entsteht selten plötzlich aus dem Nichts. Meist entwickelt sich die Erkrankung innerhalb eines über Jahre veränderten biologischen Klimas – zwischen chronischem Stress, metabolischer Überlastung, gestörten Reparaturprozessen und einem inneren Maschinenraum, der irgendwann nicht mehr sauber herunterkühlt.

## 8. Metabolische Vertiefung: Zucker, Entzündung, Mikrobiom



Abbildung 8.3.: Chronische Entzündungen verändern das Tumormikromilieu und beeinflussen Stoffwechsel, Gefäßbildung und Immunreaktionen.

## 8.4. Mitochondrien und Zellatmung

Mitochondrien gehören zu jenen Dingen, über die man in der Schule einmal kurz etwas hört und die danach irgendwo im biologischen Keller des Gedächtnisses verschwinden. Kleine Kraftwerke der Zelle. ATP-Produktion. Fertig.

Doch je tiefer man in die moderne Krebsforschung eintaucht, desto deutlicher wird: Diese winzigen Organellen sitzen mitten im energetischen Herzstück des gesamten Stoffwechsels.

Ohne Mitochondrien gäbe es praktisch keinen stabilen Dauerbetrieb des Körpers. Die Zellen würden zwar nicht sofort stillstehen, aber der gesamte Organismus käme irgendwann nur noch wie ein altes Notstromsystem über die Runden.

Denn genau hier entsteht ein Großteil jener Energie, mit der Muskeln arbeiten, Nerven feuern, Herzschläge organisiert werden und Reparaturprozesse überhaupt erst möglich werden.

**Die Zellatmung als biologisches Kraftwerkssystem** Die Zellatmung gehört zu den faszinierendsten Prozessen der Biologie. Sauerstoff wird genutzt, um in einem hochkomplexen System chemischer Reaktionen Energie bereitzustellen. Milliarden solcher Vorgänge laufen jede Sekunde im Körper ab – lautlos, präzise und normalerweise erstaunlich stabil.

Zumindest solange das System funktioniert.

Denn Mitochondrien reagieren empfindlich auf oxidativen Stress, Entzündungen, Schadstoffe, chronische Überlastung und metabolische Krisenzustände (Wallace, 2012). Gerät dieses Gleichgewicht aus der Kontrolle, verändert sich häufig die gesamte Energieorganisation der Zelle.

Und genau dort beginnt die Krebsforschung besonders aufmerksam zu werden.

(Siehe Abb. 7.2, Seite 153.)

Wie in Abbildung 7.2, Seite 153 sichtbar wird, bilden Mitochondrien zentrale Schaltstellen biologischer Energieversorgung und Zellregulation.

**Der Warburg-Effekt** Viele Tumorzellen besitzen auffällige Veränderungen ihrer mitochondrialen Funktion. Lange Zeit glaubte man sogar, Krebszellen würden hauptsächlich außerhalb der Mitochondrien Energie erzeugen. Otto Warburg beschrieb bereits in den 1920er Jahren, dass viele Tumoren verstärkt auf Glykolyse setzen – selbst wenn eigentlich genügend Sauerstoff vorhanden wäre (Warburg, 1956).

Das berühmte Warburg-Phänomen.

## 8. Metabolische Vertiefung: Zucker, Entzündung, Mikrobiom

Anfangs interpretierte man dies beinahe als Defekt der Zellatmung. Heute wirkt die Situation deutlich komplizierter. Viele Tumoren nutzen weiterhin Mitochondrien, allerdings auf veränderte Weise. Der Krebs organisiert seine Energieversorgung gewissermaßen neu.

Man könnte sagen: Die Zelle baut ihr gesamtes Kraftwerkssystem um, sobald normaler Betrieb nicht mehr ausreicht.

Besonders faszinierend bleibt, dass Mitochondrien weit mehr tun als bloß Energie liefern. Sie beeinflussen Zelltodprogramme, Signalwege, oxidativen Stress, Entzündungsreaktionen und sogar Immunprozesse. Die kleinen Kraftwerke wirken dadurch eher wie zentrale Steuerzentralen des biologischen Maschinenraums.

Und genau deshalb geraten sie zunehmend ins Zentrum metabolischer Krebstheorien.

**Tumoren unter metabolischem Extremstress** Viele Tumorzellen leben in chaotischen Umgebungen. Sauerstoffmangel, schlechte Durchblutung, entzündliche Milieus und enorme Stoffwechselbelastung gehören dort praktisch zum Alltag. Gesunde Zellen würden unter solchen Bedingungen häufig kollabieren. Tumorzellen dagegen entwickeln erstaunliche Anpassungsstrategien.

Wie improvisierte Schattenbetriebe, die selbst bei flackernder Stromversorgung und halb zerstörter Infrastruktur irgendwie weiterproduzieren.

Interessanterweise erzeugen Mitochondrien selbst wiederum freie Radikale. In kontrollierter Menge sind diese Stoffe völlig normal und sogar wichtig für Signalprozesse. Gerät das System jedoch dauerhaft unter Stress, entstehen Schäden an DNA, Proteinen, Membranen und enzymatischen Abläufen.

Der Organismus arbeitet dann zunehmend im oxidativen Dauerbetrieb.

*(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)*

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, geraten Zellatmung und Energieproduktion unter chronischer Belastung zunehmend unter Druck.

**Neue metabolische Therapieansätze** Viele Forscher beschäftigen sich deshalb mit der Frage, ob bestimmte Krebsarten besonders empfindlich auf Störungen ihrer mitochondrialen Energieversorgung reagieren könnten (Heiden u. a., 2009). Daraus entstehen neue Forschungsansätze: metabolische Therapien, Fastenkonzepte, Mitochondrienmodulation oder gezielte Eingriffe in den Energiestoffwechsel.

Natürlich gilt auch hier: Vieles befindet sich noch im wissenschaftlichen Entwicklungsstadium. Manche Hypothesen wirken faszinierend, andere bleiben umstritten. Der metabolische Maschinenraum des Körpers ist extrem komplex. Und trotzdem verändert die mitochondriale Perspektive den Blick auf Krebs grundlegend.

## 8. Metabolische Vertiefung: Zucker, Entzündung, Mikrobiom

Der Tumor erscheint plötzlich nicht mehr bloß als genetischer Defekt, sondern als tiefgreifende Störung biologischer Energieorganisation. Der Krebs baut sich gewissermaßen seine eigene alternative Infrastruktur auf: mit chaotischen Leitungen, provisorischen Notprogrammen und ständig umgeschalteten Stoffwechselwegen.

**Der Organismus im energetischen Krisenmodus** Vielleicht erklärt genau das auch die enorme Erschöpfung vieler Patienten. Wenn die Energieversorgung des Körpers dauerhaft unter Druck gerät, betrifft das eben nicht nur einzelne Zellen. Dann beginnt der gesamte Organismus langsam im biologischen Krisenmodus zu arbeiten.

Wie ein riesiges Kraftwerk, dessen Generatoren Tag und Nacht unter Überlast laufen, während irgendwo tief im Inneren längst die ersten Sicherungen durchbrennen.

### 8.5. Mikrobiom, Darmflora und Krebs

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Darmflora=Mikrobiom(Darm)

Mikroorganismus=Organismus(Kleinstform)

Probiotikum=Stoff(Mikrobiomunterstützung)

Lange Zeit glaubte man, der menschliche Körper bestünde im Wesentlichen aus menschlichen Zellen. Heute weiß man: Das stimmt nur zur Hälfte.

Mitten im Darm lebt ein gigantisches mikrobiologisches Universum aus Bakterien, Pilzen, Viren und anderen Mikroorganismen. Billionen winziger Mitbewohner besiedeln jene langen inneren Landschaften, durch die täglich Nahrung, Stoffwechselprodukte und chemische Signale transportiert werden.

Und erstaunlicherweise arbeitet dieses unsichtbare Ökosystem nicht gegen uns, sondern meistens mit uns zusammen.

Man könnte sagen: Im Inneren des Körpers existiert eine riesige biologische Unterstadt mit eigenem Stoffwechsel, eigener Kommunikation und eigener chemischer Industrie.

**Das Mikrobiom als metabolisches Organ** Die Darmflora beeinflusst weit mehr als bloß Verdauung. Sie wirkt auf Immunsystem, Entzündungsprozesse, Hormonhaushalt, Stoffwechsel und sogar neurologische Signale (Garrett, 2015). Manche Forscher sprechen inzwischen beinahe von einem zusätzlichen metabolischen Organ.

Besonders spannend wird die Situation dort, wo dieses empfindliche Gleichgewicht aus dem Takt gerät.

Ungünstige Ernährung, chronischer Stress, Antibiotika, Schlafmangel oder dauerhafte Entzündungen verändern das mikrobielle Milieu des Darms oft tiefgreifend. Bestimmte

## 8. Metabolische Vertiefung: Zucker, Entzündung, Mikrobiom

Bakterien nehmen zu, andere verschwinden, Stoffwechselprodukte verändern sich und plötzlich arbeitet das gesamte innere Ökosystem anders als ursprünglich vorgesehen.

Wie ein riesiger biologischer Rangierbahnhof, in dem nach und nach immer mehr falsche Güterzüge auf den falschen Gleisen unterwegs sind.

**Der Darm als chemische Verhandlungszone** Genau deshalb interessiert sich die Krebsforschung zunehmend für das Mikrobiom.

Denn manche Bakterien produzieren entzündungsfördernde oder sogar DNA-schädigende Stoffe (Schwabe & Jobin, 2013). Andere scheinen dagegen schützende Funktionen zu besitzen und entzündliche Prozesse eher zu beruhigen.

Der Darm wird dadurch zu einer Art chemischer Verhandlungszone zwischen Nahrung, Immunsystem, Mikroben und Stoffwechsel.

Besonders deutlich zeigen sich solche Zusammenhänge bei Darmkrebs. Chronische Entzündungen, gestörte Schleimhautbarrieren und veränderte bakterielle Zusammensetzungen beeinflussen offenbar das gesamte mikroökologische Klima des Gewebes.

Der Tumor wächst also nicht bloß aus einzelnen Mutationen heraus, sondern innerhalb einer biologischen Landschaft, die sich oft über Jahre hinweg verändert hat.

Interessanterweise scheint das Mikrobiom sogar Einfluss auf Krebstherapien zu besitzen. Manche Studien deuten darauf hin, dass bestimmte Darmbakterien Immuntherapien beeinflussen könnten (Gopalakrishnan u. a., 2018).

Der Körper reagiert offenbar nicht isoliert, sondern als komplexes Gesamtsystem aus menschlichen und mikrobiellen Stoffwechselprozessen. Das ist eigentlich eine ziemlich verrückte Vorstellung.

Während Ärzte Medikamente verabreichen und Tumoren analysieren, läuft parallel im Darm eine riesige unsichtbare biochemische Parallelwelt, die möglicherweise mit darüber entscheidet, wie stabil der Organismus insgesamt bleibt.

**Zwischen Wissenschaft und Übertreibung** Natürlich entstehen rund um solche Themen schnell Übertreibungen. Plötzlich tauchen Wunderprobiotika, Darmreinigungen oder völlig absurde Heilversprechen auf. Manche Anbieter tun beinahe so, als ließe sich Krebs einfach durch ein paar Joghurtdrinks und fermentiertes Gemüse wegtherapieren. So einfach funktioniert Biologie natürlich nicht.

Und trotzdem verändert die Mikrobiomforschung den Blick auf den menschlichen Körper grundlegend. Der Organismus erscheint immer weniger wie eine isolierte Einzelmaschine und zunehmend wie ein riesiges biologisches Verbundsystem: mit menschlichen Zellen, mikrobiellen Netzwerken, chemischen Rückkopplungen und permanentem Stoffaustausch.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 dargestellt, verändern chronische Belastungszustände langfristig das mikrobiologische und metabolische Gleichgewicht des Körpers.

**Die mikrobielle Parallelwelt des Stoffwechsels** Besonders faszinierend bleibt die Verbindung zum Stoffwechsel. Darmbakterien beeinflussen kurzkettige Fettsäuren, Entzündungstoffe, Immunaktivität, Zuckerstoffwechsel und sogar mitochondriale Prozesse. Der innere Maschinenraum des Körpers wird also nicht allein von menschlicher Biologie betrieben. Irgendwo tief im Verdauungssystem laufen gleichzeitig Milliarden mikrobieller Nebenprozesse mit. Wie kleine chemische Werkstätten entlang eines gigantischen unterirdischen Leitungssystems.

Vielleicht erklärt genau das auch, warum Ernährung oft so tiefgreifende Auswirkungen besitzt. Nahrung versorgt eben nicht nur den Menschen selbst, sondern gleichzeitig auch jene mikrobiellen Landschaften, die mitten im Körper leben.

Und genau dort wird die Sache wieder metabolisch.

Denn Krebs entsteht offenbar nicht bloß aus einzelnen Zellfehlern heraus. Der Tumor entwickelt sich innerhalb komplexer biologischer Milieus: zwischen Entzündungen, Stoffwechselstress, gestörter mikrobieller Balance und einem inneren Ökosystem, das manchmal langsam seine ursprüngliche Stabilität verliert.

Oder einfacher gesagt: Mitten im biologischen Untergrund des Körpers verändert sich über Jahre hinweg das gesamte Klima – bis irgendwann aus kleinen mikroökologischen Verschiebungen eine Landschaft entsteht, in der auch Tumoren leichter Fuß fassen können.

## 8.6. Umweltgifte, Schadstoffe und Zivilisationsstress

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Schadstoff=Stoff(Belastung)

Hormondisruptor=Disruptor(Hormon)

Zivilisationsstress=Zustand(Dauerueberlastung)

Der menschliche Körper entstand nicht für moderne Industriegesellschaften. Nicht für Feinstaub, Mikroplastik, Dauerbeleuchtung, Lösungsmittel, Pestizide, Schichtarbeit und permanenten Informationslärm. Biologisch betrachtet leben viele Menschen heute in einer Umgebung, die für den inneren Maschinenraum ungefähr so natürlich ist wie ein Kohlekraftwerk mitten in einem Tropenwald.

Und trotzdem hält der Organismus erstaunlich lange durch.

## 8. Metabolische Vertiefung: Zucker, Entzündung, Mikrobiom

Die Leber entgiftet, die Nieren filtern, Immunzellen räumen auf und Reparaturprogramme flicken beschädigte DNA. Tag und Nacht arbeitet der Körper daran, jene chemischen Belastungen zu kontrollieren, die moderne Lebenswelten ständig erzeugen. Doch genau dieser Dauerbetrieb hinterlässt Spuren.

**Der Organismus im chronischen Belastungsmodus** Viele Umweltstoffe wirken nicht wie akute Gifte, die sofort alles lahmlegen. Viel heimtückischer sind jene kleinen chronischen Belastungen, die über Jahre hinweg langsam das biologische Gleichgewicht verschieben: Feinstaub, Tabakrauch, Asbest, Schwermetalle, Lösungsmittel, bestimmte Pestizide oder industrielle Schadstoffe (Wild, 2012).

Der Körper gerät dadurch gewissermaßen in einen permanenten unterschweligen Krisenzustand.

Besonders problematisch wird oxidativer Stress. Viele Schadstoffe erzeugen freie Radikale oder entzündliche Reaktionen, die langfristig DNA, Mitochondrien, Membranen und Reparaturmechanismen belasten (Reuter u. a., 2010).

Anfangs kompensiert der Organismus das oft erstaunlich gut. Doch irgendwann beginnt der innere Wartungsaufwand immer größer zu werden. Wie in einer alten Industrieanlage, in der täglich neue Korrosionsschäden entstehen, während die Reparaturkolonnen längst nicht mehr hinterherkommen.

(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 sichtbar wird, führen dauerhafte Schadstoff- und Stressbelastungen zu komplexen biologischen Überlastungszuständen.

**Das biologische Klima chronischer Belastung** Interessanterweise zeigt sich dabei erneut, wie eng Umwelt, Stoffwechsel, Entzündungen und Krebs miteinander verbunden sind. Der Tumor entsteht selten plötzlich durch einen einzelnen Stoff allein. Viel häufiger entwickeln sich über Jahre hinweg instabile biologische Landschaften: chronische Reizung, gestörte Zellkommunikation, entzündliche Mikromilieu und metabolischer Dauerstress.

Gerade die Lunge zeigt solche Zusammenhänge besonders deutlich. Feinstaub und Tabakrauch belasten empfindliche Gewebe oft jahrzehntelang (Herbst u. a., 2018). Doch auch andere Organe reagieren sensibel auf chronische Schadstoffbelastung: Leber, Darm, Haut oder hormonelle Steuerungssysteme.

Der Organismus arbeitet dabei permanent im Spannungsfeld zwischen Anpassung und Überforderung.

Besonders faszinierend bleibt die Rolle sogenannter endokriner Disruptoren. Manche Umweltstoffe können hormonähnliche Wirkungen entfalten und biologische Signallräume verändern (Diamanti-Kandarakis u. a., 2009).

## 8. Metabolische Vertiefung: Zucker, Entzündung, Mikrobiom

Der Körper erhält dadurch gewissermaßen chemische Fehlinformationen innerhalb seiner eigenen Steuerleitungen.

Das wirkt manchmal beinahe absurd: Der Organismus versucht präzise hormonelle Kommunikation zu organisieren, während gleichzeitig von außen Stoffe einströmen, die heimlich dieselben biologischen Schalter manipulieren.

**Zivilisationsstress als biologischer Dauerzustand** Natürlich wäre es falsch, daraus einfache Panikmodelle abzuleiten. Nicht jede Plastikflasche führt automatisch zu Krebs. Der menschliche Körper besitzt enorme Widerstandskraft. Doch moderne Umweltmedizin zeigt zunehmend, dass langfristige Belastungen biologische Systeme subtil verändern können – besonders dann, wenn Stress, schlechte Ernährung, Bewegungsmangel und chronische Entzündungen gleichzeitig hinzukommen.

Und genau dort taucht ein weiterer Faktor auf: Zivilisationsstress. Denn nicht nur chemische Schadstoffe beeinflussen den Stoffwechsel. Auch Dauerstress verändert Hormonsysteme, Immunreaktionen, Schlafqualität und Entzündungsprozesse (McEwen, 1998). Der Körper läuft dabei ständig auf Alarmbereitschaft.

Man könnte sagen: Der moderne Mensch lebt oft wie ein Kraftwerk im permanenten Spitzenlastbetrieb – ohne echte Wartungsphasen und ohne saubere Abkühlung des Systems.

Schlafmangel, Lärm, Reizüberflutung und psychische Daueranspannung verändern langfristig den gesamten inneren Betriebszustand. Cortisolspiegel verschieben sich, Reparaturprogramme werden unruhiger und Immunprozesse verlieren an Stabilität.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 dargestellt, führen dauerhafte Belastungszustände langfristig zu komplexen entzündlichen und metabolischen Stressräumen.

**Der Körper als Langzeit-Kompensationssystem** Der Krebs entsteht dadurch natürlich nicht einfach „durch Stress“. Aber chronische Überlastung verändert offenbar jene biologischen Landschaften, in denen Reparatur und Stabilität eigentlich funktionieren müssten.

Interessanterweise beginnt die moderne Forschung deshalb zunehmend, Gesundheit nicht mehr nur als Abwesenheit einzelner Krankheiten zu betrachten. Stattdessen rückt das gesamte innere Milieu des Körpers in den Mittelpunkt: Wie stabil arbeitet der Stoffwechsel? Wie hoch ist die chronische Entzündungsbelastung? Wie gut funktionieren Reparaturmechanismen? Und wie lange kann der Organismus dauerhaften Stress überhaupt kompensieren?

Denn Krebs entwickelt sich selten im biologischen Vakuum.

Der Tumor wächst mitten in einem Organismus, der oft bereits jahrelang versucht hat, mit Überlastung, Schadstoffen und metabolischem Dauerstress irgendwie zurechtzukommen.

Oder einfacher gesagt: Irgendwann läuft der gesamte innere Maschinenraum nicht mehr ruhig und sauber, sondern permanent leicht überhitzt – und genau in solchen überlasteten Landschaften beginnen entgleiste Zellverbände manchmal, ihre eigenen Schattenstrukturen aufzubauen.

## 8.7. Metabolische Landschaften und die Zukunft der Krebsforschung

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Stoffwechsellandschaft=Landschaft(Stoffwechsel)

Immunmodulation=Prozess(Immunsteuerung)

Systemmedizin=Medizin(Gesamtzusammenhang)

Je länger man sich mit Krebs beschäftigt, desto schwieriger wird die Vorstellung vom Tumor als einfachem Zellfehler. Irgendwann reicht das alte Bild nicht mehr aus.

Zu viele Dinge greifen ineinander: Stoffwechsel, Entzündungen, Hormonsysteme, Mikrobiom, Immunreaktionen, Sauerstoffversorgung, Mitochondrien, Stress, Schlaf und Umweltbelastungen.

Der Krebs erscheint plötzlich nicht mehr wie ein einzelner Defekt im Gewebe. Eher wie eine großflächige Entgleisung biologischer Landschaften.

Genau dort beginnt ein neuer Blick auf die Krankheit.

**Der Organismus als Versorgungssystem** Vielleicht muss man den Organismus weniger als Maschine verstehen und mehr als lebendiges Versorgungssystem mit unzähligen Rückkopplungen. Der Körper arbeitet schließlich nicht linear. Überall laufen gleichzeitig chemische Signale, Energieflüsse, Reparaturprogramme, mikrobielle Prozesse und immunologische Kontrollmechanismen durcheinander. Wie ein gigantisches Netz aus Leitungen, Kraftwerken, Wartungstunneln und biologischen Schaltzentralen. Und mitten darin versucht der Tumor, seine eigene Infrastruktur aufzubauen.

Besonders faszinierend bleibt dabei, dass Krebs offenbar hochgradig anpassungsfähig ist. Tumorzellen verändern ihren Stoffwechsel, ihre Energiequellen, ihre Kommunikation mit Immunzellen und sogar ihre mikroökologische Umgebung.

Der Krebs reagiert also nicht statisch, sondern beinahe wie ein evolutionärer Schattenbetrieb innerhalb des Organismus. Man könnte sagen: Der Tumor lernt permanent dazu.

**Vom Einzelziel zur Systemmedizin** Genau deshalb stößt die klassische Vorstellung einer einzelnen Wundertherapie zunehmend an Grenzen. Viele moderne Ansätze versuchen heute nicht mehr nur, Tumorzellen direkt zu zerstören. Stattdessen interessiert man sich immer stärker für das gesamte biologische Umfeld: Wie sieht das entzündliche Klima aus? Wie stabil arbeitet der Stoffwechsel? Wie reagieren Immunzellen? Welche Rolle spielen Mitochondrien? Wie verändert sich die Energieversorgung des Tumors? Die Forschung bewegt sich dadurch langsam weg vom isolierten Einzelziel und hin zu komplexeren Systemmodellen (Hanahan, 2022).

Interessanterweise erinnert das fast ein wenig an moderne Stadtplanung. Wenn irgendwo in einer Großstadt Chaos entsteht, reicht es eben nicht, bloß ein einzelnes kaputtes Haus abzureißen.

Entscheidend ist: Wie funktionieren Verkehr, Energieversorgung, Wassersysteme, Kommunikation und Infrastruktur insgesamt? Genau solche Fragen stellt die metabolische Krebsforschung inzwischen dem menschlichen Körper.

**Die Zukunft personalisierter Therapie** Besonders spannend bleibt dabei die Rolle personalisierter Medizin. Kein Tumor gleicht exakt dem anderen. Selbst innerhalb derselben Krebsart entstehen oft völlig unterschiedliche biologische Landschaften.

Manche Tumoren reagieren empfindlich auf Immuntherapie, andere auf hormonelle Eingriffe oder Stoffwechselveränderungen. Der Krebs wirkt dadurch weniger wie ein standardisierter Gegner und eher wie eine Vielzahl unterschiedlicher biologischer Überlebensstrategien. Und genau deshalb wird die Zukunft der Krebsmedizin vermutlich nicht aus einer einzigen großen Entdeckung bestehen.

Wahrscheinlicher ist ein Zusammenspiel vieler Ebenen: präzisere Diagnostik, bessere Stoffwechselanalysen, personalisierte Therapien, Immunmodulation und ein tieferes Verständnis jener mikroökologischen Räume, in denen Tumoren überhaupt entstehen.

**Früherkennung biologischer Instabilität** Vielleicht wird man irgendwann sogar lernen, Krebs deutlich früher als heute zu erkennen – nicht erst als sichtbaren Tumor, sondern bereits als langsame Veränderung biologischer Stabilität.

Denn viele Erkrankungen beginnen offenbar lange bevor erste Symptome auftreten. Der Organismus verliert schrittweise: metabolische Balance, Regenerationsfähigkeit, Immunpräzision und Anpassungsstabilität.

Wie ein riesiges Kraftwerk, dessen Leitungen über Jahre hinweg langsam heißlaufen, bevor schließlich irgendwo die ersten sichtbaren Schäden entstehen.

Gleichzeitig bleibt eine wichtige Erkenntnis: Der menschliche Körper besitzt enorme Widerstandskraft. Selbst unter schweren Belastungen versucht der Organismus permanent

zu reparieren, auszugleichen, umzubauen und Stabilität wiederherzustellen. Gesundheit wirkt dadurch weniger wie ein starrer Idealzustand und eher wie ein dauernder biologischer Balanceakt.

**Die Zukunft führt tiefer in den Maschinenraum** Vielleicht liegt genau darin auch die eigentliche Bedeutung metabolischer Forschung: nicht bloß den Tumor isoliert zu betrachten, sondern den gesamten inneren Lebensraum des Körpers.

Denn Krebs wächst niemals außerhalb des Organismus. Der Tumor lebt mitten im Stoffwechsel. Mitten in den Energieflüssen. Mitten in Entzündungen, Reparaturprozessen und biologischen Krisenzonen.

Oder einfacher gesagt: Die Zukunft der Krebsforschung führt wahrscheinlich immer tiefer in den inneren Maschinenraum des Menschen hinein – dorthin, wo Gesundheit und Krankheit nicht mehr als starre Gegensätze erscheinen, sondern als fragile Zustände innerhalb einer riesigen, ständig arbeitenden metabolischen Landschaft.

## Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels

- Lebensstil wirkt auf Stoffwechsel, Entzündung, Schlaf und Regeneration — ohne Schuld für die Erkrankung.
- Zucker- und Insulinsignalwege verbinden Ernährung, Hormone und Tumorstoffwechsel-Forschung.
- Mitochondrien und Bewegung beeinflussen Energieversorgung und biologische Widerstandskraft.
- Mikrobiom und Darmflora sind Teil des Regulationsnetzes — Forschung, kein Wunderrezept.
- Umweltgifte und chronischer Stress können Regulationsräume belasten — Prävention und Entlastung sind komplex.
- Psyche und Stress sind körperlich wirksam — psychosoziale Unterstützung ist medizinisch sinnvoll.
- Ernährungsumstellungen sollten mit dem behandelnden Team abgestimmt werden, besonders während Therapien.
- Der rote Faden: Alltag formt metabolische Landschaften — der Organismus ist ein lernendes Gesamtsystem.

## Was Sie konkret tun können

*Orientierung und Selbstorganisation — keine medizinischen Anweisungen.*

- **Ernährungstagebuch** (1–2 Wochen): Mahlzeiten, Appetit, Übelkeit, Gewicht — ohne Bewertung, nur Beobachtung.
- **Symptome dokumentieren:** Schlaf, Müdigkeit, Schmerz, Stimmung — mit Datum für Arzttermine.
- **Bewegung realistisch planen:** Was ist heute möglich? Onkologische Sportprogramme oder Physiotherapie erkunden.
- **Psychische Belastung ernst nehmen:** Psychoonkologie, Seelsorge oder Beratungsstellen — kein „Luxus“.
- **Keine Crash-Diäten** während laufender Therapie ohne Rücksprache — Kalorienbedarf kann erhöht sein.

### **Fallbeispiel: Ernährungsumstellung unter Chemotherapie**

Ein 61-jähriger Mann möchte „zuckerfrei“ leben, verliert aber während der Chemotherapie deutlich an Gewicht. Die onkologische Ernährungsberatung schlägt energiereichere, verträgliche Mahlzeiten vor und dokumentiert Gewicht wöchentlich. Er reduziert Zucker schrittweise, ohne sich zusätzlich zu überfordern — und spricht offen über Übelkeit im nächsten Termin.

Kein Einzelfall aus der Praxis; keine Heilungsaussage.

## 9. Integration, Grenzen und Ausblick

### Ihr Nutzen

Nach diesem Kapitel wissen Sie ...

- Krebs als Systemgeschehen einordnen,
- Grenzen der Medizin und offene Forschungsfragen sehen,
- das MONA-Rahmenbild als Landkarte nutzen.

### Wann ist das wichtig?

Am Ende der Vertiefung — als Zusammenschau.

### Was Sie sich merken sollten

- Integration verbindet Teil I–III, ersetzt aber keine individuelle Therapieplanung.
- Offene Fragen gehören zur wissenschaftlichen Redlichkeit.

### Fragen für Ihren Arzt

- Welche offenen Punkte sollte ich mit meinem Behandlungsteam klären?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

### Sofort handeln, wenn ...

Kein Notfallkapitel — akute Warnzeichen siehe Teil I.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

### Vertiefung

Ernährung zwischen Hoffnung/Realität und “Patient zwischen Angst und Hoffnung” stehen in Teil I.

## 9.1. Krebs als Systemerkrankung

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Stoffwechselstabilität=Stabilität(Stoffwechselordnung)

Vielleicht liegt der größte Denkfehler der modernen Medizin darin, dass sie Krebs zu lange wie einen isolierten Defekt behandelt hat. Irgendwo wächst ein Tumor, also muss dieser Tumor entfernt, vergiftet oder bestrahlt werden. Punkt.

Doch je tiefer die Forschung in die biologischen Landschaften des Körpers eindringt, desto deutlicher wird: Der Krebs sitzt selten allein da.

Er entsteht mitten in einem Organismus, dessen Stoffwechsel, Immunsystem, Hormonsysteme, Mitochondrien, Entzündungsräume und Reparaturprogramme längst miteinander verwoben sind.

Man könnte sagen: Der Tumor ist nicht bloß ein einzelner Schwarzbau im biologischen Gelände. Oft zeigt er an, dass bereits das gesamte Versorgungssystem unter Druck geraten ist.

**Der Organismus als vernetztes Gesamtsystem** Genau deshalb verändert sich langsam der Blick auf Krebs. Nicht mehr nur: „Welche Zellen teilen sich unkontrolliert?“ Sondern: In welchem inneren Klima entsteht diese Entgleisung überhaupt? Warum verlieren bestimmte Gewebe ihre Stabilität? Wie verändern chronische Entzündungen den gesamten Betriebszustand? Welche Rolle spielen Energieversorgung, Sauerstoffmangel oder metabolischer Dauerstress?

Plötzlich wirkt Krebs weniger wie ein einzelner Feind und mehr wie ein komplexer Ausnahmezustand innerhalb des gesamten biologischen Systems.

Besonders faszinierend bleibt dabei die enorme Anpassungsfähigkeit des Körpers. Selbst unter massiver Belastung versucht der Organismus permanent gegenzusteuern: Immunzellen reagieren, Gewebe repariert sich, Entgiftungssysteme laufen, Mitochondrien organisieren neue Energieflüsse.

Der Mensch ist biologisch gesehen kein starres Objekt, sondern eher ein riesiges dynamisches Gleichgewichtssystem.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, entstehen Tumoren innerhalb komplexer biologischer Belastungs- und Regulationsräume.

**Der Tumor im metabolischen Umfeld** Genau deshalb geraten moderne Stoffwechselmodelle zunehmend in den Mittelpunkt der Forschung (Hanahan, 2022). Der Tumor wächst nicht isoliert von seiner Umgebung. Er lebt mitten in: Sauerstoffgradienten,

## 9. Integration, Grenzen und Ausblick

Entzündungslandschaften, mikrobiellen Ökosystemen, Stresshormonen und chaotischen Energieflüssen.

Wie eine Schattenstruktur, die sich direkt in bestehende Versorgungssysteme einklinkt. Interessanterweise erklärt dieser systemische Blick auch, warum Krebs bei unterschiedlichen Menschen so verschieden verläuft. Zwei Patienten können äußerlich denselben Tumortyp besitzen und trotzdem biologisch völlig unterschiedlich reagieren.

Der gesamte innere Betriebszustand des Organismus beeinflusst offenbar: Therapieansprechen, Immunreaktionen, metabolische Stabilität und Anpassungsfähigkeit des Tumors. Die Medizin beginnt dadurch langsam zu verstehen, dass Gesundheit weit mehr ist als bloße Abwesenheit einzelner Krankheiten. Gesundheit bedeutet Stabilität: des Stoffwechsels, der Regeneration, der Energieversorgung, der inneren Kommunikation.

Oder anders gesagt: Ein Organismus bleibt gesund, solange sein biologischer Maschinenraum trotz Belastung immer wieder in stabile Betriebszustände zurückfinden kann.

**Chronische Überlastung biologischer Systeme** Natürlich bedeutet das nicht, dass Krebs einfach durch „gesunden Lebensstil“ vermeidbar wäre. Viele Tumoren entstehen trotz guter Ernährung, Bewegung oder niedriger Belastung. Genetik, Zufall und biologische Alterungsprozesse spielen weiterhin enorme Rollen.

Doch gleichzeitig zeigt sich immer deutlicher: Chronische Überlastung verändert jene Landschaften, in denen Tumoren leichter Fuß fassen können. Entzündungen. Insulinresistenz. Schlafmangel. Mitochondrialer Stress. Dauerhafte hormonelle Übersteuerung. Mikrobiomverschiebungen. Oxidative Belastung. All diese Prozesse greifen tief ineinander wie überhitzte Leitungen innerhalb eines gigantischen Kraftwerks.

*(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)*

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, verändern dauerhafte Belastungszustände langfristig Stoffwechsel, Reparaturfähigkeit und biologische Stabilität.

**Die Herausforderung der Zukunft** Und genau dort beginnt die eigentliche Herausforderung der Zukunft.

Vielleicht reicht es langfristig nicht mehr aus, nur einzelne Tumoren zu bekämpfen. Vielleicht muss Medizin stärker lernen, jene biologischen Klimazonen zu stabilisieren, in denen Gesundheit überhaupt entstehen kann.

Das bedeutet nicht: Heilversprechen. Wundermittel. Oder einfache Lösungen. Im Gegenteil. Der menschliche Körper ist wahrscheinlich viel komplexer, als jede einzelne Theorie bislang erfassen kann.

Und trotzdem entsteht langsam ein neues Bild: Krebs als systemische Störung biologischer Ordnung. Nicht bloß als genetischer Unfall. Sondern als Ausdruck eines Organismus, dessen innere Stabilitätsräume an bestimmten Stellen kollabieren.

Oder einfacher gesagt: Irgendwann läuft der gesamte metabolische Maschinenraum nicht mehr ruhig und abgestimmt, sondern dauerhaft unter Druck – und mitten in diesem überhitzten biologischen Gelände beginnt der Tumor schließlich, seine eigene chaotische Infrastruktur aufzubauen.

### 9.2. Wissenschaft, Hoffnung und Verantwortung

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Wissenschaft=Prozess(Erkenntnis)

Hypothese=Modell(Vermutung)

Verantwortung=Haltung(Sorgfalt)

Kaum ein Bereich der Medizin bewegt sich in einem so empfindlichen Spannungsfeld wie die Krebsforschung. Hier treffen Angst, Hoffnung, Verzweiflung, Geschäft, Technologie und menschliche Sehnsucht unmittelbar aufeinander.

Und genau deshalb entsteht rund um Krebs oft eine eigentümliche Mischung aus nüchterner Wissenschaft und beinahe religiöser Erwartung. Die einen glauben ausschließlich an Hightech-Medizin: mehr Daten, mehr Genetik, mehr Präzisionsdiagnostik, mehr künstliche Intelligenz. Die anderen hoffen auf: Ernährung, Naturstoffe, Fastenkuren, alternative Heilmethoden oder irgendeinen bislang übersehenen metabolischen Schlüssel. Dazwischen stehen reale Patienten mit realen Erkrankungen.

Menschen also, deren Körper plötzlich nicht mehr selbstverständlich funktionieren und die häufig verzweifelt versuchen zu verstehen, was eigentlich tief im eigenen biologischen Maschinenraum passiert.

**Die Verantwortung der Forschung** Vielleicht liegt genau dort eine der größten Verantwortungen moderner Krebsforschung: ehrlich zu bleiben.

Denn Wissenschaft besitzt keine endgültigen Wahrheiten. Sie arbeitet sich langsam vorwärts: über Hypothesen, Fehler, Korrekturen, Rückschläge und neue Beobachtungen. Gerade in der Tumorbilogie verändert sich das Wissen ständig. Was gestern noch als gesichert galt, wirkt heute manchmal bereits unvollständig.

Das bedeutet allerdings nicht, dass „alles gleich wahr“ wäre. Zwischen sauberer Forschung und wilden Heilversprechen existiert ein gewaltiger Unterschied.

## 9. Integration, Grenzen und Ausblick

Besonders problematisch wird es dort, wo Hoffnung zur Ware wird. Sobald Menschen Angst haben, entstehen plötzlich: Wundertherapien, geheime Heilmethoden, exklusive Spezialpräparate und aggressive Versprechungen.

Der Krebsmarkt produziert dann seine eigenen Schattenökonomien – oft mit erstaunlich wenig wissenschaftlicher Substanz. Manchmal wirkt das beinahe wie ein Goldrausch rund um biologische Verzweiflung.

**Zwischen Offenheit und Skepsis** Und trotzdem wäre es ebenso falsch, jede neue Idee sofort lächerlich zu machen.

Denn viele Entwicklungen der modernen Medizin galten anfangs ebenfalls als unrealistisch: Immuntherapien, zielgerichtete Medikamente, CAR-T-Zellen, molekulare Diagnostik oder personalisierte Therapien hätten vor wenigen Jahrzehnten beinahe wie Science-Fiction geklungen.

Wissenschaft braucht deshalb gleichzeitig: Offenheit und Skepsis.

Gerade metabolische Forschung bewegt sich oft genau in diesem Spannungsfeld. Manche Zusammenhänge zwischen Stoffwechsel, Entzündungen, Mitochondrien, Ernährung und Tumorbilogie wirken hochinteressant. Andere Hypothesen bleiben bislang spekulativ oder nur teilweise belegt.

Die eigentliche Herausforderung besteht deshalb nicht darin, einfache Antworten zu liefern. Sondern Unsicherheit auszuhalten, ohne dabei Orientierung zu verlieren.

Vielleicht ist genau das schwerste Kapitel moderner Medizin: ehrlich zu sagen, was man weiß, was man vermutet, und was man noch überhaupt nicht versteht.

*(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)*

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, entstehen Gesundheit und Krankheit innerhalb hochkomplexer biologischer Wechselwirkungsräume.

**Der Organismus bleibt komplex** Denn der menschliche Körper bleibt unfassbar komplex. Milliarden Zellen, unzählige Stoffwechselwege, mikrobielle Ökosysteme, hormonelle Signallräume und immunologische Kontrollsysteme greifen gleichzeitig ineinander. Der Organismus arbeitet nicht wie ein sauber dokumentierter Industrieplan. Eher wie eine gigantische lebendige Landschaft voller Rückkopplungen, Notprogramme und improvisierter biologischer Stabilität. Und mitten darin entsteht Krebs. Manchmal langsam. Manchmal aggressiv. Manchmal trotz gesunder Lebensweise. Manchmal nach jahrzehntelanger Belastung. Oft ohne klare einfache Ursache. Vielleicht liegt gerade darin auch eine wichtige menschliche Erkenntnis: Nicht jede Krankheit lässt sich vollständig kontrollieren.

Der moderne Mensch liebt die Vorstellung totaler Beherrschbarkeit. Für jedes Problem müsse es doch irgendwo: eine Tablette, eine Formel, eine Operation oder einen eindeutigen biologischen Schalter geben.

Doch Krebs widersetzt sich genau diesem Denken immer wieder. Der Tumor verändert sich. Passt sich an. Findet neue Stoffwechselwege. Umgeht Therapien. Nutzt biologische Schwachstellen. Improvisiert. Wie ein chaotischer Schattenbetrieb mitten im inneren Versorgungssystem des Körpers.

**Die Forschung als Expedition** Und trotzdem lohnt Forschung. Vielleicht gerade deshalb.

Denn jedes neue Verständnis über Entzündungen, Immunprozesse, metabolische Stabilität, Mitochondrien, Mikrobiome oder hormonelle Steuerung erweitert langsam die Landkarte jener biologischen Landschaften, in denen Gesundheit und Krankheit entstehen.

Nicht als endgültige Wahrheit. Sondern als fortlaufende Expedition.

Oder einfacher gesagt: Die Krebsforschung gleicht vielleicht weniger einer fertigen Bedienungsanleitung und mehr einer riesigen Erkundungsreise durch den inneren Maschinenraum des Menschen – voller Irrwege, überraschender Entdeckungen und jener seltenen Momente, in denen plötzlich ein kleines Stück Ordnung im biologischen Chaos sichtbar wird.

### 9.3. Der Mensch im metabolischen Zeitalter

**Neue Begriffe dieses Abschnitts**

MetabolischesZeitalter=Zeitalter(Stoffwechselbelastung)

Dauerbelastung=Belastung(Dauer)

Vielleicht wird man später einmal auf unsere Epoche zurückblicken und feststellen, dass die großen Krankheiten der Moderne weniger aus einzelnen Defekten entstanden sind als aus dauerhaft überlasteten biologischen Landschaften.

Der Mensch lebt heute anders als jemals zuvor in seiner Geschichte. Zu viel Licht. Zu wenig Schlaf. Zu wenig Bewegung. Dauerstress. Permanent verfügbare Kalorien. Chemische Belastungen. Informationsfluten. Reizübersteuerung. Der gesamte Organismus arbeitet vielerorts nicht mehr im natürlichen Rhythmus, sondern im permanenten Ausnahmebetrieb.

Man könnte sagen: Die moderne Zivilisation hat den biologischen Maschinenraum des Menschen in einen Zustand versetzt, für den evolutionär eigentlich nie eine Betriebsanleitung vorgesehen war.

**Der Organismus im Dauerbetrieb** Und trotzdem funktioniert der Körper erstaunlich lange weiter.

Die Leber entgiftet. Das Immunsystem reguliert. Mitochondrien liefern Energie. Hormonsysteme gleichen Schwankungen aus. Das Gehirn kompensiert Erschöpfung. Der Stoffwechsel improvisiert ständig neue Stabilität.

Wie ein gigantisches Kraftwerk, dessen Wartungsmannschaften Tag und Nacht versuchen, trotz Überlastung den Normalbetrieb irgendwie aufrechtzuerhalten. Doch irgendwann beginnen manche Systeme zu kippen. Nicht plötzlich. Nicht dramatisch von heute auf morgen. Eher langsam und schleichend.

Entzündungen nehmen zu. Insulinspiegel verändern sich. Schlafrhythmen zerfallen. Reparaturprozesse ermüden. Mikrobiome verschieben sich. Stress wird chronisch. Der innere Betriebszustand verliert seine frühere Stabilität.

*(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)*

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, entstehen moderne Erkrankungen häufig innerhalb komplexer metabolischer und entzündlicher Belastungslandschaften.

**Die gemeinsame metabolische Grundmelodie** Und genau dort tauchen plötzlich viele moderne Erkrankungen gleichzeitig auf: Diabetes, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Autoimmunstörungen, neurodegenerative Prozesse und bestimmte Krebsarten. Vielleicht sind diese Krankheiten weniger voneinander getrennt, als die Medizin lange angenommen hat. Denn überall erscheint dieselbe große metabolische Grundmelodie: chronische Überlastung biologischer Regulationssysteme.

Interessanterweise beginnt genau deshalb ein neues Denken in der Medizin. Gesundheit wird zunehmend nicht mehr bloß als Reparatur einzelner Defekte verstanden. Stattdessen rückt die Frage in den Mittelpunkt: Wie stabil bleibt das gesamte biologische Gesamtsystem?

Wie widerstandsfähig ist der Stoffwechsel? Wie gut funktionieren Regeneration und Anpassung? Wie flexibel reagieren Mitochondrien? Wie stabil bleiben Immunreaktionen unter Dauerstress?

Der Organismus erscheint dadurch immer weniger wie eine Maschine mit austauschbaren Ersatzteilen und zunehmend wie ein empfindliches ökologisches System.

**Der Mensch als biologisches Ökosystem** Vielleicht liegt genau darin auch die tiefere Bedeutung metabolischer Forschung. Nicht bloß den Tumor selbst zu betrachten. Sondern die gesamte Landschaft, in der dieser Tumor entsteht. Denn Krebs wächst niemals außerhalb des Lebens eines Menschen. Er wächst mitten in: Ernährung, Schlaf, Stress, Umwelt, Hormonsystemen, Entzündungsräumen und Energieflüssen.

## 9. Integration, Grenzen und Ausblick

Natürlich wäre es gefährlich, daraus einfache Schuldmodelle abzuleiten. Niemand wird krank, weil er einmal falsch gegessen oder zu wenig geschlafen hat. Biologie bleibt komplex, voller Zufall, Genetik und individueller Unterschiede.

Und trotzdem zeigt sich immer deutlicher: Der moderne Lebensstil beeinflusst den inneren Betriebszustand des Körpers tiefgreifend.

(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, geraten moderne biologische Systeme zunehmend unter dauerhafte Belastung.

**Die Medizin der Zukunft** Vielleicht beginnt genau hier das eigentliche metabolische Zeitalter.

Ein Zeitalter, in dem Medizin nicht mehr nur einzelne Krankheiten isoliert betrachtet, sondern den gesamten Organismus als dynamisches Netzwerk aus: Energie, Information, Reparatur, Immunität und biologischer Anpassung versteht.

Der Mensch wäre dann nicht bloß Patient. Sondern Betreiber eines hochkomplexen inneren Ökosystems.

Und Gesundheit bedeutete vielleicht vor allem: dass dieses fragile System trotz aller Belastungen immer wieder in stabile Zustände zurückfinden kann.

Oder einfacher gesagt: Die Zukunft der Medizin könnte weniger darin bestehen, einzelne Brände zu löschen – sondern den gesamten inneren Maschinenraum so zu verstehen, dass er gar nicht erst dauerhaft überhitzt.

### 9.4. Schlussbetrachtung

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Stabilität=Zustand(Gleichgewicht)

Vielleicht beginnt jede ernsthafte Beschäftigung mit Krebs irgendwann an genau demselben Punkt: mit der Erkenntnis, dass der menschliche Körper viel komplexer ist, als wir lange geglaubt haben.

Zu Beginn wirkt vieles noch einfach. Ein Tumor wächst. Also muss er entfernt oder bekämpft werden. Doch je tiefer man in die biologischen Landschaften des Organismus hineinschaut, desto deutlicher wird: Der Krebs sitzt nicht außerhalb des Lebens.

Er wächst mitten darin.

Mitten im Stoffwechsel. Mitten in hormonellen Signalräumen. Mitten in Entzündungen, Immunreaktionen und Energieflüssen. Mitten in Schlaf, Stress, Ernährung, Umwelt und biologischer Alterung.

Der Tumor erscheint dadurch immer weniger wie ein isolierter Feind und zunehmend wie Ausdruck eines Organismus, dessen innere Stabilität an bestimmten Stellen verloren gegangen ist.

**Der Körper als dynamisches Versorgungssystem** Natürlich bleibt Krebs trotzdem eine reale und oft brutale Erkrankung. Viele Menschen sterben daran. Viele Therapien sind belastend. Viele Verläufe bleiben unberechenbar.

Dieses Buch will deshalb keine einfachen Lösungen verkaufen und keine falschen Heilversprechen erzeugen. Denn genau dafür ist die Biologie zu kompliziert.

Und vielleicht liegt gerade darin die wichtigste Ehrlichkeit: Der menschliche Körper funktioniert nicht wie ein simples mechanisches Gerät mit klar identifizierbaren Einzeldefekten.

Eher wie ein gigantisches lebendiges Versorgungssystem voller: Rückkopplungen, Notprogramme, Improvisationen, Anpassungen und empfindlicher Gleichgewichte.

Manchmal bleibt dieses System trotz enormer Belastungen jahrzehntelang stabil. Manchmal kippt es überraschend schnell. Und oft verstehen wir bis heute nicht vollständig, warum.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, arbeiten Stoffwechsel, Entzündungen und biologische Stabilität innerhalb hochkomplexer Systemräume zusammen.

**Die metabolische Perspektive** Doch genau deshalb verändert die metabolische Perspektive den Blick auf Krebs so grundlegend. Sie fragt nicht nur: „Welche Mutation liegt vor?“

Sondern: In welchem biologischen Klima entsteht diese Mutation überhaupt? Wie verändert sich die Energieversorgung der Zellen? Welche Rolle spielen chronische Entzündungen? Wie reagieren Mitochondrien unter Dauerstress? Warum verlieren manche Gewebe ihre Stabilität?

Plötzlich erscheint Gesundheit weniger als Zufallszustand und mehr als fragile Balance eines hochkomplexen biologischen Gesamtsystems.

Vielleicht erklärt das auch, warum moderne Zivilisationskrankheiten so häufig gemeinsam auftreten: Übergewicht, Diabetes, chronische Entzündungen, Gefäßerkrankungen, Erschöpfung und bestimmte Krebsarten wirken vielerorts wie unterschiedliche Erscheinungsformen derselben überlasteten metabolischen Landschaft.

Der Organismus arbeitet dann nicht mehr ruhig und abgestimmt, sondern dauerhaft unter Druck. Wie ein riesiges Kraftwerk, dessen Generatoren, Kühlungen und Versorgungssysteme immer weiterlaufen müssen, obwohl längst überall kleine Warnlampen aufleuchten.

**Das eigentliche Wunder biologischen Lebens** Und trotzdem bleibt der menschliche Körper erstaunlich widerstandsfähig. Selbst unter schwersten Belastungen versucht der Organismus permanent: zu reparieren, umzubauen, auszugleichen und neue Stabilität zu erzeugen. Vielleicht ist genau diese Fähigkeit das eigentliche Wunder biologischen Lebens. Die moderne Krebsforschung steht deshalb wahrscheinlich erst am Anfang eines viel größeren Verständnisses. Nicht bloß Krebszellen isoliert zu betrachten. Sondern den gesamten inneren Lebensraum des Menschen. Die metabolischen Landschaften. Die mikroökologischen Räume. Die Energieflüsse. Die biologischen Rhythmen. Die stillen Reparaturprogramme im Hintergrund.

(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, entstehen viele moderne Erkrankungen innerhalb langfristiger metabolischer Überlastungszustände.

**Eine neue Sicht auf den Menschen** Vielleicht wird Medizin in Zukunft weniger aus einzelnen Wundertherapien bestehen als aus einem tieferen Verständnis dafür, wie Stabilität im Organismus überhaupt entsteht – und warum sie manchmal verloren geht. Dieses Buch versteht sich deshalb nicht als endgültige Wahrheit. Eher als Einladung, den menschlichen Körper neu zu betrachten. Nicht als starre Maschine. Sondern als lebendiges, empfindliches und hochdynamisches System, das Tag und Nacht versucht, Ordnung im biologischen Chaos aufrechtzuerhalten. Oder einfacher gesagt: Der Krebs entsteht nicht irgendwo außerhalb des Menschen. Er wächst mitten im inneren Maschinenraum des Lebens selbst.

### 9.5. Epilog – Der biologische Maschinenraum

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Stoffwechselkrise=Krise(Stoffwechselinstabilität)

Vielleicht ist der menschliche Körper am Ende weder bloß Maschine noch bloß Natur. Vielleicht ist er etwas Drittes: ein gigantisches lebendes Versorgungssystem, das permanent versucht, Ordnung gegen das Chaos zu organisieren.

Milliarden Zellen arbeiten gleichzeitig. Mitochondrien erzeugen Energie. Enzyme steuern chemische Prozesse. Hormone schicken Signale durch den gesamten Organismus. Immunzellen patrouillieren durch Gewebe und Blutbahnen. Mikrobiome verhandeln still mit Stoffwechsel und Entzündungen.

Und mitten darin versucht der Mensch zu leben. Zu schlafen. Zu lieben. Zu arbeiten. Zu hoffen. Zu überleben.

**Der empfindliche innere Lebensraum** Vielleicht vergisst die moderne Welt manchmal, wie unfassbar empfindlich dieses gesamte System eigentlich ist.

Denn der innere Maschinenraum des Körpers arbeitet niemals im luftleeren Raum. Er reagiert auf: Nahrung, Stress, Umwelt, Rhythmus, Bewegung, Emotionen, Alterung und Zeit.

Der Organismus speichert Belastungen oft über Jahre hinweg still im Hintergrund: kleine Entzündungen, chronischen Schlafmangel, Dauerstress, Stoffwechselüberlastung und oxidative Schäden.

Nichts davon wirkt zunächst spektakulär. Und trotzdem verändern solche Prozesse langsam die inneren Landschaften biologischer Stabilität. Wie in einem riesigen Kraftwerk, das äußerlich ruhig weiterarbeitet, während tief im Inneren längst erste Leitungen überhitzen.

*(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)*

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, entstehen viele moderne Erkrankungen innerhalb langfristiger metabolischer Belastungsräume.

**Die stille Überlastung moderner Lebenswelten** Vielleicht liegt gerade darin die eigentliche Tragik vieler moderner Erkrankungen: Der Körper sendet oft früh Signale, aber der Mensch lernt zunehmend, sie zu ignorieren.

Müdigkeit wird mit Kaffee überdeckt. Stress mit Ablenkung. Erschöpfung mit Durchhalten. Schlafmangel mit künstlichem Licht. Überlastung mit noch mehr Tempo.

Der Organismus funktioniert erstaunlich lange trotzdem weiter. Bis irgendwann manche Systeme nicht mehr sauber kompensieren können.

Und genau dort beginnt oft jene stille biologische Verschiebung, aus der später: Entzündungen, metabolische Krisen, degenerative Prozesse oder Tumorerkrankungen entstehen können.

Natürlich bleibt Krebs trotzdem mehr als bloß Stoffwechsel. Genetik, Zufall, Alterung und Umwelt greifen tief ineinander. Nicht jede Krankheit besitzt eine klare Ursache. Nicht jede Belastung führt automatisch zu Tumoren.

Der menschliche Körper bleibt viel komplexer, als jede Theorie vollständig erfassen könnte.

**Die Medizin der Zukunft** Und trotzdem verändert die metabolische Perspektive etwas Entscheidendes: Sie richtet den Blick wieder auf den gesamten Organismus. Nicht nur auf einzelne Tumorzellen. Nicht nur auf Laborwerte. Nicht nur auf isolierte Defekte. Sondern auf den inneren Lebensraum des Menschen selbst. Vielleicht beginnt genau dort die Medizin der Zukunft.

## 9. Integration, Grenzen und Ausblick

Eine Medizin, die versteht, dass Gesundheit nicht bloß Reparatur bedeutet, sondern Stabilität biologischer Systeme. Dass Regeneration genauso wichtig sein kann wie Intervention. Dass Stoffwechsel, Immunität, Mitochondrien und Entzündungen keine Nebenschauplätze sind, sondern zentrale Elemente menschlicher Existenz.

(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, destabilisieren dauerhafte Belastungen langfristig die innere Ordnung biologischer Systeme.

**Der Mensch lebt im Stoffwechsel** Und vielleicht wird man irgendwann erkennen, dass der wichtigste Kampf gegen Krebs nicht erst im Operationssaal beginnt. Sondern viel früher.

Dort, wo der Organismus noch versucht: Rhythmus zu halten, Entzündungen zu kontrollieren, Energie sauber zu organisieren und trotz aller Belastungen biologisches Gleichgewicht aufrechtzuerhalten.

Oder einfacher gesagt: Der Mensch lebt nicht neben seinem Stoffwechsel. Er lebt in ihm.

### 9.6. Das offene Ende der Krebsforschung

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Systemanpassung=Anpassung(System)

Vielleicht ist es gerade die größte Stärke der Wissenschaft, dass sie niemals wirklich fertig wird. Denn je weiter die Krebsforschung voranschreitet, desto deutlicher zeigt sich: Mit jeder beantworteten Frage entstehen plötzlich fünf neue.

Früher glaubte man, Krebs sei vor allem ein Problem unkontrollierter Zellteilung. Dann rückten Gene in den Mittelpunkt. Später: Mutationen, Signalwege, Tumormikromilieu, Immunreaktionen, Mitochondrien, Stoffwechsel, Mikrobiome und epigenetische Prozesse.

Und heute beginnt langsam die Erkenntnis: All diese Ebenen greifen gleichzeitig ineinander. Der Tumor wirkt dadurch nicht mehr wie ein einzelner biologischer Fehler. Eher wie ein hochdynamischer Ausnahmezustand innerhalb eines riesigen lebenden Systems.

Man könnte sagen: Die Krebsforschung bewegt sich inzwischen weniger durch klare Straßen und mehr durch eine Art metabolisches Nebelgebirge voller unbekannter Übergänge.

**Die Suche nach der einen Ursache** Gerade deshalb verändert sich auch das Selbstverständnis moderner Medizin. Früher hoffte man oft auf: die eine Ursache, das eine Gen, die eine Therapie, die eine endgültige Lösung.

Heute erscheint Krebs zunehmend als komplexes Zusammenspiel aus: Zufall, Alterung, genetischer Verletzlichkeit, Umwelt, Entzündungen, Stoffwechsel, Immunologie und biologischer Anpassung.

Der Organismus gleicht dabei keinem starren Bauplan. Eher einer riesigen lebenden Landschaft mit permanenten Umbauarbeiten, improvisierten Reparaturen und unzähligen Rückkopplungen. Und mitten darin versucht der Tumor, seine eigene Ordnung aufzubauen.

*(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)*

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, greifen Stoffwechsel, Immunreaktionen und biologische Stabilität tief ineinander.

**Der Tumor als adaptives System** Besonders faszinierend bleibt die enorme Wandlungsfähigkeit von Krebszellen. Sie reagieren auf Therapien, verändern ihre Energieversorgung, umgehen Signalblockaden und entwickeln neue Überlebensstrategien.

Der Tumor verhält sich manchmal beinahe wie ein biologischer Schattenstaat innerhalb des Körpers: flexibel, anpassungsfähig, schwer kontrollierbar. Wie ein illegaler Nebenbetrieb, der ständig neue Leitungen legt, sobald irgendwo eine Hauptversorgung unterbrochen wird. Genau deshalb wird die Zukunft der Krebsmedizin vermutlich nicht aus einfachen Patentlösungen bestehen. Eher aus: besserem Verständnis, präziserer Diagnostik, früherer Erkennung, systemischer Betrachtung und immer feineren biologischen Landkarten.

Vielleicht wird man eines Tages metabolische Krisenzustände erkennen können, lange bevor überhaupt sichtbare Tumoren entstehen. Vielleicht versteht man irgendwann besser, warum manche Organismen trotz massiver Belastung stabil bleiben, während andere biologisch entgleisen. Vielleicht lernt die Medizin sogar, den inneren Maschinenraum des Körpers frühzeitig wieder zu stabilisieren, bevor ganze Systeme kollabieren.

**Die biologische Unvermeidbarkeit des Krebses** Doch selbst dann wird Krebs wahrscheinlich nie vollständig verschwinden.

Denn Krebs gehört letztlich auch zur Biologie des Lebens selbst. Zu Zellteilung. Zu Alterung. Zu evolutionärer Anpassung. Zu jener permanenten Unsicherheit, die jedes komplexe lebende System begleitet.

Vielleicht liegt genau darin die eigentliche Demut moderner Medizin: Nicht alles lässt sich vollständig kontrollieren. Und trotzdem lohnt jede neue Erkenntnis. Jede verbesserte

## 9. Integration, Grenzen und Ausblick

Therapie. Jede stabilisierte Lebensphase. Jede vermiedene Entzündung. Jede gewonnene Zeit. Jedes tiefere Verständnis des Organismus.

(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, entstehen viele Erkrankungen innerhalb langfristiger biologischer Überlastungszustände.

**Die Expedition in unbekanntes Gelände** Denn Wissenschaft arbeitet selten mit endgültigen Wahrheiten. Sie bewegt sich Schritt für Schritt durch unbekanntes Gelände. Wie alte Expeditionen in weiße Flecken auf vergilbten Landkarten.

Und vielleicht passt genau deshalb die große Karl-May-Metapher dieses Buches so gut: Auch dort entstanden riesige innere Landschaften aus Vorstellungskraft, Fragmenten, Beobachtungen und dem Versuch, unbekannte Räume erzählbar zu machen.

Die moderne Krebsforschung befindet sich in gewisser Weise in einer ähnlichen Situation. Wir kennen bereits viele Wege. Aber das eigentliche Gelände dahinter bleibt gewaltig. Oder einfacher gesagt:

Der innere Maschinenraum des Menschen ist vermutlich noch viel größer, tiefer und geheimnisvoller, als wir heute überhaupt ahnen können.

### 9.7. MONA-Manifest – Eine neue Sicht auf Krebs

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Manifest=Erklärung(Grundhaltung)

Dieses Buch behauptet nicht, Krebs endgültig erklären zu können. Vielleicht wäre genau das sogar der erste Schritt in die falsche Richtung. Denn der menschliche Körper ist kein einfacher Mechanismus mit wenigen klaren Schaltern. Er gleicht eher einer riesigen lebenden Landschaft: voller Energieflüsse, Rückkopplungen, Reparaturprogramme, mikrobieller Mitspieler, hormoneller Steuerzentralen und metabolischer Übergangszonen. Krebs entsteht darin nicht wie ein Fremdkörper von außen. Er wächst mitten aus dem System selbst heraus.

**Eine neue Perspektive auf Krebs** Genau deshalb versucht dieses Buch, den Blick zu verändern. Weg von der Vorstellung des isolierten Tumors. Hin zu den biologischen Bedingungen, unter denen Tumoren überhaupt entstehen können. Nicht nur: Mutation. Sondern auch: Entzündung. Energieorganisation. Mitochondrien. Insulinräume. Sauerstoffmangel. Stress. Mikrobiome. Chronische Überlastung biologischer Stabilität.

## 9. Integration, Grenzen und Ausblick

Vielleicht ist Krebs deshalb weniger ein einzelner Defekt als vielmehr Ausdruck eines Organismus, dessen innere Regulationsräume an bestimmten Stellen ihre Balance verlieren.

Das bedeutet ausdrücklich nicht: Schuld. Einfache Ursachen. Oder naive Heilsversprechen. Der menschliche Körper bleibt viel komplexer.

Menschen erkranken trotz gesunder Lebensweise. Andere bleiben trotz enormer Belastung lange stabil. Genetik, Alterung, Zufall und Umwelt greifen tief ineinander.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, entstehen Tumoren innerhalb empfindlicher biologischer Wechselwirkungsräume.

**Der Stoffwechsel als Grundlage des Lebens** Und trotzdem zeigt sich immer deutlicher: Der Stoffwechsel ist keine Nebensache des Lebens. Er ist seine Grundlage. Der Organismus lebt von: Energie, Rhythmus, Regeneration, Sauerstoff, Immunbalance und funktionierender innerer Kommunikation. Wenn diese Systeme dauerhaft unter Druck geraten, verändert sich langsam das gesamte biologische Klima des Körpers. Wie bei einem riesigen Kraftwerk entstehen dann: Überhitzungen, Notprogramme, chaotische Umleitungen und instabile Versorgungsräume. Genau in solchen Landschaften beginnt Krebs manchmal zu wachsen. Dieses Buch versteht sich deshalb nicht als dogmatische Wahrheit. Eher als metabolische Landkarte.

Als Versuch, die inneren Räume des Körpers neu zu betrachten: nicht bloß als Ansammlung einzelner Organe, sondern als dynamisches Gesamtsystem biologischer Stabilität.

**Die Zukunft metabolischer Medizin** Vielleicht liegt darin die eigentliche Zukunft der Krebsforschung: nicht nur immer präzisere Waffen gegen Tumoren zu entwickeln, sondern den Organismus selbst besser zu verstehen.

Denn Gesundheit entsteht wahrscheinlich nicht allein durch Reparatur.

Sondern durch die Fähigkeit des Körpers, trotz Belastung, trotz Alterung, trotz Stress und trotz biologischer Unsicherheit immer wieder stabile Zustände herstellen zu können.

(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, entstehen viele Erkrankungen innerhalb langfristiger biologischer Überlastungszustände.

**Der Mensch lebt im Stoffwechsel** Oder einfacher gesagt: Der Mensch lebt nicht neben seinem Stoffwechsel. Er lebt mitten in ihm.

## 9.8. Nachwort von Detlef Schulz

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Tumorbiologie=Wissenschaft(Tumorprozesse)

Stoffwechselferspektive=Perspektive(Stoffwechsel)

Die Entstehung dieses Buchprojekts ist im Abschnitt *Was bedeutet MONA?* skizziert. Was hier folgt, betrifft den besonderen Ton der Darstellung und die Grenzen dessen, was ein Sachbuch leisten kann.

**Warum dieses Buch anders klingt** Vielleicht erklärt genau das auch den besonderen Stil dieses Buches. Ich wollte bewusst kein trockenes medizinisches Lehrbuch schreiben, das nur aus Fachbegriffen, Tabellen und sterilen Definitionen besteht.

Krebs betrifft schließlich reale Menschen. Menschen mit Angst, Hoffnung, Erschöpfung und dem Wunsch zu verstehen, was im eigenen Körper überhaupt geschieht.

Deshalb finden sich in diesem Buch neben biologischen und medizinischen Überlegungen auch: Ironie, Übertreibungen, schwarzer Humor, manchmal provokante Bilder und bewusst zugespitzte Formulierungen.

Nicht um Krankheiten lächerlich zu machen.

Sondern weil schwere Themen manchmal überhaupt erst zugänglich werden, wenn man Sprache benutzt, die Bilder erzeugt und Emotionen auslöst.

Vielleicht erinnert manches deshalb eher an eine Abenteuerreise durch unbekannte Landschaften als an klassische medizinische Literatur. Und ehrlich gesagt: Genau so fühlt sich moderne Krebsforschung für mich inzwischen auch an.

Wie eine riesige Expedition in einen biologischen Kontinent, von dem wir zwar einzelne Regionen kartiert haben, dessen eigentliche Tiefe aber noch immer voller Nebel, Widersprüche und unerwarteter Zusammenhänge steckt.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, entstehen Gesundheit und Krankheit innerhalb hochkomplexer biologischer Wechselwirkungsräume.

**Keine falschen Heilversprechen** Besonders wichtig war mir dabei eines: Dieses Buch soll keine falschen Heilversprechen erzeugen. Viele der beschriebenen Zusammenhänge stammen aus: wissenschaftlichen Veröffentlichungen, experimentellen Beobachtungen, metabolischen Hypothesen oder Forschungsansätzen, die sich noch weiterentwickeln. Nicht alles davon gilt bereits als endgültig bewiesen oder klinisch etabliert. Vieles befindet sich noch mitten im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess. Deshalb versteht sich dieses Buch ausdrücklich als: Diskussionsbeitrag, Denkmodell

und metabolische Perspektiverweiterung. Nicht als Ersatz für medizinische Diagnostik oder Therapie. Vielleicht liegt die eigentliche Botschaft dieses Buches letztlich in etwas viel Einfacherem: Der menschliche Körper ist kein starres Objekt. Er ist ein hochdynamisches biologisches System, das permanent versucht, Ordnung gegen Chaos aufrechtzuerhalten. Und Krebs entsteht möglicherweise genau dort, wo diese innere Ordnung an bestimmten Stellen ihre Stabilität verliert.

(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, geraten biologische Systeme häufig schleichend unter langfristige metabolische Belastung.

**Die Bereitschaft zu neuen Fragen** Ob zukünftige Forschung diese metabolische Sichtweise weiter bestätigen, verändern oder teilweise widerlegen wird, kann heute niemand sicher sagen. Aber vielleicht beginnt Wissenschaft genau dort: mit der Bereitschaft, neue Fragen überhaupt zuzulassen. Oder einfacher gesagt: Wer den inneren Maschinenraum des Menschen verstehen will, darf keine Angst davor haben, auch unbekanntes Gelände zu betreten.

### 9.9. Ausblick – Die kommende metabolische Medizin

**Neue Begriffe dieses Abschnitts**

Stoffwechselmedizin=Medizin(Stoffwechsel)

Praevention=Strategie(Vorbeugung)

Stoffwechselflexibilitaet=Flexibilitaet(Stoffwechselanpassung  
)

Vielleicht stehen wir erst am Anfang eines völlig neuen medizinischen Zeitalters. Über viele Jahrzehnte dachte Medizin vor allem in: Organen, Diagnosen, Laborwerten und einzelnen Krankheiten.

Der Mensch wurde gewissermaßen in biologische Fachabteilungen zerlegt: hier das Herz, dort die Leber, hier die Lunge, dort der Tumor.

Doch je tiefer moderne Forschung in die inneren Prozesse des Körpers eindringt, desto stärker verschwimmen diese alten Grenzen. Denn überall greifen dieselben Systeme ineinander: Stoffwechsel, Entzündungen, Immunreaktionen, Hormonsignale, Mitochondrien, Mikrobiome, Regeneration und Energieorganisation. Der Organismus arbeitet eben nicht wie eine Ansammlung getrennter Ersatzteile. Eher wie eine gigantische lebendige Infrastruktur mit: Kraftwerken, Leitungssystemen, Wartungstunneln, chemischen Kommunikationsnetzen und permanenten biologischen Rückkopplungen.

**Die Medizin greift immer früher ein** Und genau dort beginnt möglicherweise die Medizin der Zukunft. Eine Medizin, die nicht erst eingreift, wenn irgendwo bereits sichtbare Schäden entstanden sind. Sondern viel früher. Dort, wo: Entzündungsräume instabil werden, Stoffwechsel entgleist, Regeneration ermüdet oder mitochondriale Belastung langsam zunimmt. Vielleicht wird man eines Tages metabolische Krisenzonen erkennen können, lange bevor daraus manifeste Erkrankungen entstehen. Nicht nur Krebs. Sondern auch: Diabetes, Gefäßerkrankungen, neurodegenerative Prozesse oder chronische Entzündungssyndrome. Interessanterweise verbindet all diese Erkrankungen oft dieselbe große Grundstruktur: Der innere Maschinenraum verliert schrittweise seine Stabilität.

Wie ein riesiges Kraftwerk, das äußerlich noch normal arbeitet, während tief im Inneren bereits: Leitungen überhitzen, Signallräume chaotisch werden und Reparatursysteme immer mehr improvisieren müssen.

*(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)*

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, entstehen viele Erkrankungen innerhalb komplexer metabolischer und entzündlicher Belastungsräume.

**Prävention bekommt eine neue Bedeutung** Genau deshalb wird Prävention vermutlich eine völlig neue Bedeutung bekommen. Nicht als moralischer Lebensstilwettbewerb. Nicht als Fitnessreligion. Und schon gar nicht als Schuldmodell. Sondern als Versuch, biologische Systeme möglichst lange stabil arbeitsfähig zu halten. Schlaf. Bewegung. Entzündungsreduktion. Metabolische Flexibilität. Stressregulation. Mikrobiomstabilität. Rhythmus. Regeneration. Vielleicht wirken solche Themen heute noch unspektakulär, weil sie keine futuristischen Hochglanztechnologien darstellen. Doch möglicherweise liegen genau dort einige der wichtigsten Grundlagen langfristiger biologischer Stabilität.

Gleichzeitig wird Hightech-Medizin natürlich weiter enorme Fortschritte machen: präzisere Diagnostik, Immuntherapien, genetische Analysen, KI-gestützte Mustererkennung, personalisierte Stoffwechselprofile und neue molekulare Therapien.

Die Zukunft der Medizin wird wahrscheinlich nicht entweder technologisch oder metabolisch sein. Sondern beides gleichzeitig.

**Der Mensch als biologisches Ökosystem** Vielleicht entsteht daraus irgendwann ein völlig neues Verständnis des Menschen: nicht als defekte Maschine, sondern als hochdynamisches biologisches Ökosystem.

Ein System, das ständig versucht: Energie zu organisieren, Schäden zu reparieren, Ordnung zu stabilisieren und trotz Alterung funktionsfähig zu bleiben.

Und genau dort könnte die eigentliche Bedeutung metabolischer Medizin liegen. Nicht bloß Krankheiten zu bekämpfen. Sondern jene inneren Bedingungen besser zu verstehen, unter denen Gesundheit überhaupt entstehen kann.

(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, geraten biologische Systeme häufig schleichend unter dauerhafte metabolische Belastung.

**Die neue Leitfrage der Medizin** Oder einfacher gesagt: Die Medizin der Zukunft wird vielleicht nicht mehr nur fragen, welche Krankheit ein Mensch hat. Sondern in welchem Zustand sich sein innerer Maschinenraum insgesamt befindet.

### 9.10. Die offene Frage des Lebens

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Selbstorganisation=Prozess(Eigenordnung)

Vielleicht endet jede ernsthafte Beschäftigung mit Krebs irgendwann nicht mehr bei Medizin allein, sondern bei einer viel größeren Frage: Was bedeutet es eigentlich, lebendig zu sein?

Denn je tiefer man in den menschlichen Körper hineinschaut, desto weniger wirkt er wie eine einfache Maschine. Überall entstehen plötzlich: Rückkopplungen, Selbstorganisation, Reparatur, Improvisation, Anpassung und erstaunliche Formen biologischer Intelligenz. Milliarden Prozesse laufen gleichzeitig. Ohne zentrale Leitstelle. Ohne sichtbaren Dirigenten. Und trotzdem entsteht daraus meistens Ordnung. Zumindest für eine gewisse Zeit.

**Die Zerbrechlichkeit biologischer Ordnung** Vielleicht liegt genau darin auch die eigentliche Zerbrechlichkeit des Lebens: Der Organismus muss seine innere Stabilität permanent neu erzeugen.

Sekunde für Sekunde.

Der Mensch existiert biologisch betrachtet niemals im Stillstand. Zellen sterben. Neue entstehen. Mitochondrien arbeiten. DNA wird repariert. Immunzellen kontrollieren Gewebe. Hormone verändern Sign Räume. Mikroorganismen verhandeln mit Stoffwechsel und Entzündungen.

Wie ein gigantischer biologischer Maschinenraum im Dauerbetrieb. Und mitten in diesem gewaltigen System entsteht irgendwann manchmal Krebs. Nicht als Fremdkörper von außen. Sondern aus dem Leben selbst heraus. Vielleicht macht genau das die Krankheit so schwer begreifbar. Der Tumor benutzt: dieselben Energiequellen, dieselben

## 9. Integration, Grenzen und Ausblick

Reparaturmechanismen, dieselben Wachstumsprogramme, dieselben Stoffwechselwege wie der restliche Organismus. Der Krebs ist biologisch gesehen nicht vollkommen fremd. Er ist entgleistes Leben. Wie eine Infrastruktur, die plötzlich beginnt, ihre eigenen Regeln zu entwickeln.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, beruhen biologische Systeme auf empfindlichen Gleichgewichten und permanenten Regulationsprozessen.

**Das paradoxe Wesen des Tumors** Gerade deshalb wirkt Krebs oft so widersprüchlich: hochaggressiv und gleichzeitig zerbrechlich, chaotisch und trotzdem organisiert, anpassungsfähig und dennoch abhängig vom Organismus, den er zerstört.

Vielleicht zeigt kaum eine andere Krankheit deutlicher, wie schmal die Grenze zwischen Ordnung und Entgleisung im menschlichen Körper tatsächlich ist.

Und trotzdem bleibt etwas Erstaunliches: Der Organismus kämpft fast immer weiter. Selbst unter schwersten Belastungen laufen: Reparaturprogramme, Immunreaktionen, Anpassungsprozesse und metabolische Ausgleichsmechanismen weiter. Der Körper versucht bis zuletzt, Stabilität zu organisieren. Wie ein riesiges Kraftwerk, dessen Mannschaften selbst dann noch Leitungen flicken, wenn längst überall Alarmzustand herrscht. Vielleicht liegt darin auch eine seltsame Form biologischer Würde. Denn Leben bedeutet offenbar nicht perfekte Stabilität. Sondern die Fähigkeit, trotz Instabilität weiter Ordnung zu erzeugen.

**Die offene Frage des Organismus** Die moderne Krebsforschung beginnt genau deshalb möglicherweise erst langsam zu verstehen, worum es eigentlich geht. Nicht bloß um Tumoren. Nicht bloß um Gene. Nicht bloß um Medikamente. Sondern um die Frage, wie komplexe lebende Systeme überhaupt: Stabilität, Rhythmus, Energie, Reparatur und Identität aufrechterhalten können. Vielleicht wird die Medizin der Zukunft deshalb irgendwann weniger mechanisch denken und stärker ökologisch. Nicht der Mensch als Maschine. Sondern der Mensch als lebendige metabolische Landschaft. Ein System voller Übergänge, Unsicherheiten und empfindlicher Gleichgewichte.

(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, entstehen biologische Krisenzustände häufig innerhalb langfristiger metabolischer Überlastungen.

**Das eigentliche Wunder** Oder einfacher gesagt: Das eigentliche Wunder besteht vielleicht nicht darin, dass der Körper irgendwann krank wird. Sondern darin, wie unfassbar lange dieses gigantische biologische System überhaupt funktioniert.

## 9.11. Das metabolische Paradigma

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Gesamtstabilität=Stabilität(Gesamtordnung)

Stoffwechselbalance=Balance(Stoffwechselgleichgewicht)

Vielleicht wird man eines Tages feststellen, dass die Medizin des 20. Jahrhunderts Krankheiten vor allem als lokale Defekte verstand, während das 21. Jahrhundert beginnt, den Menschen wieder als zusammenhängendes biologisches System zu begreifen.

Genau darin könnte das eigentliche metabolische Paradigma liegen. Nicht der isolierte Tumor steht dann im Mittelpunkt. Nicht nur einzelne Gene. Nicht bloß Laborwerte oder Organbefunde. Sondern die Frage: Wie organisiert der Organismus insgesamt seine innere Stabilität?

Denn überall tauchen dieselben Grundmuster wieder auf: Entzündungen. Energiekrisen. Mitochondrialer Stress. Gestörte Regeneration. Hormonelle Übersteuerung. Mikrobiomverschiebungen. Chronische Überlastung biologischer Rhythmen.

Die Grenzen zwischen: Krebs, Diabetes, Gefäßerkrankungen, neurodegenerativen Prozessen und chronischer Erschöpfung beginnen dabei teilweise zu verschwimmen. Vielleicht sind viele moderne Erkrankungen weniger voneinander getrennt, als die Medizin lange glaubte. Eher unterschiedliche Erscheinungsformen desselben überlasteten metabolischen Territoriums.

**Der Organismus als Versorgungssystem** Man könnte sagen: Der menschliche Organismus gleicht einem riesigen Versorgungssystem mit: Kraftwerken, Rohrleitungen, Regelzentralen, Entgiftungsanlagen, Kommunikationsnetzen und permanent laufenden Wartungsprozessen.

Solange diese Systeme stabil zusammenarbeiten, bleibt Gesundheit möglich.

Doch wenn: Entzündungen chronisch werden, Regeneration ausfällt, Stress dauerhaft anhält oder Stoffwechselräume entgleisen, beginnt langsam die biologische Ordnung instabil zu werden.

Und genau dort entstehen möglicherweise jene Landschaften, in denen sich auch Tumoren leichter entwickeln können. Interessanterweise verändert dieses Denken nicht nur die Krebsforschung, sondern den gesamten Blick auf Medizin. Der Mensch erscheint plötzlich nicht mehr bloß als Ansammlung einzelner Krankheiten. Sondern als hochdynamisches metabolisches Gesamtsystem.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, entstehen viele moderne Erkrankungen innerhalb komplexer metabolischer Belastungs- und Regulationslandschaften.

**Die Vernetzung biologischer Systeme** Vielleicht erklärt genau das auch, warum moderne Therapien zunehmend: Immunologie, Ernährung, Mitochondrien, Entzündungsprozesse, Mikrobiome und Lebensrhythmen gleichzeitig berücksichtigen. Nicht weil plötzlich „alles irgendwie zusammenhängt“ im esoterischen Sinn. Sondern weil biologische Systeme tatsächlich hochgradig vernetzt arbeiten.

Die Leber beeinflusst Entzündungen. Der Darm beeinflusst Immunität. Schlaf beeinflusst Stoffwechsel. Stress verändert Hormonräume. Mitochondrien reagieren auf Sauerstoff, Ernährung und Belastung gleichzeitig.

Der Organismus arbeitet eben nicht linear. Eher wie eine riesige lebendige Infrastruktur voller Rückkopplungen und improvisierter Stabilität. Und mitten darin versucht Krebs, seine eigene metabolische Ordnung aufzubauen. Vielleicht liegt deshalb die eigentliche Zukunft der Medizin nicht allein im immer präziseren Angriff auf einzelne Tumoren.

Sondern zusätzlich im besseren Verständnis jener biologischen Bedingungen, unter denen: Stabilität, Regeneration, Anpassungsfähigkeit und metabolische Balance überhaupt entstehen können.

**Wissenschaft als Expedition** Natürlich bleibt dabei wissenschaftliche Vorsicht notwendig. Viele Zusammenhänge werden erst langsam verstanden. Nicht jede metabolische Hypothese bestätigt sich später klinisch. Manche Ideen verschwinden wieder. Andere verändern plötzlich ganze Forschungsfelder.

Genau das gehört zur Wissenschaft. Sie bewegt sich nicht geradlinig. Sondern tastend. Experimentierend. Korrigierend. Wie eine Expedition durch unbekannte biologische Landschaften.

*(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)*

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, entstehen biologische Krisenzustände häufig innerhalb langfristiger metabolischer Überlastungen.

**Das Wesen des metabolischen Paradigmas** Und vielleicht ist genau das das eigentliche Wesen des metabolischen Paradigmas: nicht die Behauptung, bereits alle Antworten zu besitzen.

Sondern die Einsicht, dass der menschliche Körper wahrscheinlich viel stärker über: Energie, Rhythmus, Stoffwechsel, Regeneration und systemische Stabilität organisiert ist, als moderne Medizin lange angenommen hat.

Oder einfacher gesagt:

Vielleicht beginnt die Medizin der Zukunft genau dort, wo sie den Menschen nicht länger nur als reparaturbedürftige Maschine betrachtet – sondern als empfindliches biologisches Ökosystem im permanenten Versuch, Ordnung gegen das innere Chaos aufrechtzuerhalten.

## 9.12. Der letzte Blick in den Maschinenraum

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Entropie=Zustand(Unordnung)

Am Ende bleibt vielleicht vor allem Staunen. Je tiefer man in den menschlichen Körper hineinschaut, desto unwirklicher erscheint dieses ganze biologische Schauspiel eigentlich. Milliarden Zellen arbeiten gleichzeitig. Energie wird verschoben. Schäden werden repariert. Mikroorganismen verhandeln mit Immunzellen. Hormone schicken chemische Befehle durch den Organismus. Mitochondrien erzeugen ununterbrochen neue Energie. Und all das geschieht lautlos. Sekunde für Sekunde. Ohne dass der Mensch die meisten dieser Vorgänge überhaupt bemerkt.

**Ordnung gegen das Chaos** Vielleicht liegt genau darin das eigentliche Wunder des Lebens: nicht in seiner Perfektion, sondern in seiner unglaublichen Fähigkeit, trotz permanenter Instabilität immer wieder Ordnung herzustellen.

Denn biologisch betrachtet lebt der Mensch niemals im Gleichgewicht. Der Organismus arbeitet ständig gegen: Entropie, Verschleiß, Entzündungen, Stress, Alterung und zufällige Schäden.

Wie ein gigantischer Maschinenraum auf hoher See, der selbst bei Sturm weiterlaufen muss, obwohl überall gleichzeitig repariert, geregelt und improvisiert wird.

Und mitten darin entsteht irgendwann manchmal Krebs. Nicht als fremdes Monster von außen. Sondern aus denselben Prozessen heraus, die eigentlich Leben ermöglichen: Wachstum, Reparatur, Anpassung, Energieorganisation. Vielleicht macht genau das die Krankheit so verstörend.

Der Tumor benutzt dieselben biologischen Werkzeuge wie der Körper selbst. Er zapft dieselben Leitungssysteme an. Er nutzt dieselben Stoffwechselwege. Er reagiert auf dieselben Signale.

Der Krebs ist biologisch gesehen keine völlig fremde Macht. Eher eine entgleiste Form innerer Organisation. Wie ein Schattenbetrieb, der mitten im Hauptkraftwerk langsam beginnt, seine eigenen Regeln durchzusetzen.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, entstehen Gesundheit und Krankheit innerhalb empfindlicher biologischer Regulationsräume.

**Der Körper arbeitet weiter** Und trotzdem bleibt etwas Erstaunliches: Der Körper gibt erstaunlich selten sofort auf.

## 9. Integration, Grenzen und Ausblick

Selbst schwer kranke Organismen versuchen oft noch: Entzündungen zu kontrollieren, Energie umzuleiten, Gewebe zu reparieren und Stabilität zu organisieren.

Der menschliche Körper kämpft nicht heroisch im romantischen Sinn. Er arbeitet einfach weiter. Still. Hartnäckig. Biologisch.

Vielleicht erklärt genau das auch, warum viele Menschen Krebs nicht bloß als medizinische Diagnose erleben, sondern als existenzielle Erschütterung.

Denn plötzlich wird sichtbar, wie empfindlich dieses gesamte innere Gleichgewicht eigentlich ist. Der moderne Mensch lebt oft in der Illusion völliger Kontrolle: mehr Technik, mehr Daten, mehr Optimierung, mehr Leistungsfähigkeit.

Doch tief im Inneren bleibt der Organismus ein verletzliches biologisches System: abhängig von Schlaf, Rhythmus, Sauerstoff, Nahrung, Regeneration und unzähligen Prozessen, die sich niemals vollständig kontrollieren lassen.

**Die eigentliche Erkenntnis** Vielleicht ist genau das die wichtigste Erkenntnis metabolischer Medizin: Gesundheit bedeutet nicht perfekte Fehlerfreiheit. Sondern die Fähigkeit eines lebenden Systems, trotz ständiger Belastung immer wieder stabile Zustände herstellen zu können. Und genau deshalb endet dieses Buch bewusst nicht mit: Heilsversprechen. Dogmen. Oder endgültigen Wahrheiten. Denn der innere Maschinenraum des Menschen bleibt in vieler Hinsicht noch unbekanntes Gelände. Die Forschung wird weitergehen. Neue Theorien werden entstehen. Manche Ideen werden bestätigt. Andere wieder verschwinden.

(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, geraten biologische Systeme häufig schleichend unter dauerhafte Belastung.

**Der unsichtbare Ort des Lebens** Doch vielleicht verändert bereits eine einzige Erkenntnis den Blick auf Krankheit grundlegend: Der Mensch lebt nicht außerhalb seiner Biologie. Er lebt mitten in ihr. Mitten in Stoffwechseln. Mitten in Energieflüssen. Mitten in mikrobiellen Landschaften, Entzündungen, Rhythmen und biologischen Reparaturprozessen. Oder einfacher gesagt:

Der wichtigste Ort des menschlichen Lebens liegt wahrscheinlich dort, wo man ihn niemals direkt sehen kann – tief im inneren Maschinenraum des Körpers.

### 9.13. Jenseits der Tumorlogik

#### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Tumorlogik=Perspektive(Tumorfokus)

Stoffwechselinstabilität=Instabilität(Stoffwechselentgleisung)

Vielleicht bestand der größte Denkfehler der klassischen Krebsmedizin lange Zeit darin, den Tumor ausschließlich als lokalen Gegner zu betrachten.

Dort sitzt der Feind. Also muss er entfernt, verbrannt, vergiftet oder blockiert werden. Und natürlich bleibt vieles davon medizinisch notwendig und lebensrettend.

Doch je tiefer moderne Forschung in die biologischen Landschaften des Körpers eindringt, desto deutlicher zeigt sich: Der Tumor existiert niemals isoliert.

Er lebt mitten im Stoffwechsel. Mitten in Entzündungsräumen. Mitten in Sauerstoffgradienten, Immunreaktionen und hormonellen Steuerzentralen. Man könnte sagen: Der Krebs ist kein Fremdkörper neben dem biologischen Maschinenraum. Er entsteht aus ihm heraus.

**Die Grenzen der klassischen Tumorlogik** Genau deshalb beginnt die moderne Forschung langsam, über die reine Tumorlogik hinauszugehen. Nicht mehr nur: „Wie zerstören wir den Tumor?“

Sondern zunehmend auch: Warum verliert der Organismus überhaupt seine Stabilität? Wie entstehen jene metabolischen Landschaften, in denen Krebs wachsen kann? Und weshalb gelingt es manchen biologischen Systemen jahrzehntelang stabil zu bleiben, während andere entgleisen?

Plötzlich verändert sich der Blick auf Krankheit grundlegend.

Der Organismus erscheint weniger wie eine Maschine mit einzelnen Defekten und zunehmend wie ein hochkomplexes ökologisches Netzwerk: mit Energieflüssen, mikrobiellen Mitspielern, Reparaturprogrammen, Stressreaktionen und empfindlichen Gleichgewichten.

Interessanterweise tauchen dabei überall dieselben großen Grundmuster auf: chronische Entzündungen, oxidativer Stress, gestörte Regeneration, überlastete Mitochondrien, dauerhafte hormonelle Aktivierung, Rhythmusverlust und metabolische Instabilität.

Wie überhitzte Leitungen in einem gigantischen Versorgungssystem.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, entstehen viele Erkrankungen nicht isoliert, sondern innerhalb komplexer Regulations- und Belastungsräume.

**Der Wandel moderner Medizin** Und genau dort beginnt vielleicht die eigentliche Zukunft der Medizin: nicht bloß immer präzisere Waffen gegen Tumorzellen zu entwickeln, sondern die Bedingungen besser zu verstehen, unter denen biologische Ordnung überhaupt stabil bleiben kann.

## 9. Integration, Grenzen und Ausblick

Natürlich klingt das zunächst weniger spektakulär als futuristische Wundertherapien oder genetische Supertechnologien. Doch möglicherweise liegt gerade darin der tiefere Wandel. Die Medizin bewegt sich langsam: weg von der reinen Defektreparatur, hin zum Verständnis komplexer biologischer Systeme.

Das bedeutet ausdrücklich nicht: dass Ernährung allein Krebs heilt, dass Bewegung alle Krankheiten verhindert oder dass psychische Belastung automatisch Tumoren erzeugt. Solche Vereinfachungen wären gefährlich. Doch ebenso gefährlich wäre es, den Organismus weiterhin bloß als Sammlung einzelner Bauteile zu betrachten.

Denn der Körper arbeitet niemals getrennt: Schlaf beeinflusst Stoffwechsel. Stress verändert Immunreaktionen. Entzündungen beeinflussen Mitochondrien. Mikrobiome verändern Sign Räume. Hormone beeinflussen Zellwachstum.

Der Mensch ist biologisch gesehen ein gigantisches Netz aus Rückkopplungen.

**Der adaptive Tumor** Vielleicht erklärt genau das auch, warum Krebs so schwer vollständig kontrollierbar bleibt. Der Tumor reagiert nicht statisch. Er passt sich an: an Sauerstoffmangel, an Medikamente, an Immunangriffe und an metabolische Veränderungen. Wie ein improvisationsbegabter Schattenbetrieb mitten im inneren Kraftwerk. Und trotzdem lohnt der Blick jenseits der reinen Tumorlogik.

Denn vielleicht beginnt genau dort ein neues medizinisches Verständnis: nicht Krankheit isoliert zu bekämpfen, sondern biologische Stabilität insgesamt besser zu erhalten.

(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, entstehen biologische Krisenzustände häufig innerhalb langfristiger metabolischer Belastungen.

**Der Blick auf den gesamten Organismus** Oder einfacher gesagt:

Die Zukunft der Krebsmedizin liegt möglicherweise nicht nur darin, den Tumor zu verstehen – sondern den gesamten inneren Maschinenraum, aus dem dieser Tumor überhaupt hervorgeht.

### 9.14. MONA als offene Landkarte

Dieses Buch versteht sich nicht als abgeschlossenes System. Vielleicht wäre genau das sogar unmöglich.

Denn die metabolischen Landschaften des menschlichen Körpers verändern sich ständig: durch neue Forschung, neue Therapien, neue Beobachtungen, neue Widersprüche und neue Fragen.

Die moderne Krebsforschung gleicht deshalb weniger einem fertigen Gebäude als einer riesigen offenen Karte, auf der noch immer große weiße Flächen existieren.

Und genau dort bewegt sich MONA. Nicht als Dogma. Nicht als endgültige Wahrheit. Sondern als Versuch, bestimmte Zusammenhänge sichtbar zu machen: zwischen Stoffwechsel, Entzündungen, Mitochondrien, Mikrobiomen, Hormonsystemen, Stress, Rhythmus und Tumorbilogie.

**Der Organismus als Gesamtsystem** Vielleicht liegt gerade darin die eigentliche Stärke metabolischer Perspektiven: Sie versuchen nicht, den Menschen auf einzelne Defekte zu reduzieren.

Sondern betrachten den Organismus als lebendes Gesamtsystem. Wie eine riesige biologische Infrastruktur mit: Kraftwerken, Rohrleitungen, Signalnetzen, Reparaturkolonnen, Wartungsprogrammen und empfindlichen Übergangszonen zwischen Stabilität und Entgleisung. Und mitten darin entsteht Krebs. Nicht außerhalb des Körpers. Nicht getrennt vom Leben. Sondern aus denselben biologischen Prozessen heraus, die normalerweise: Wachstum, Regeneration, Anpassung und Überleben ermöglichen. Interessanterweise verändert genau dieser Blick auch die Rolle des Patienten. Der Mensch erscheint dann nicht mehr bloß als passiver Träger einer Diagnose. Sondern als biologisches Gesamtsystem mit: individueller Belastungsgeschichte, eigener metabolischer Stabilität, unterschiedlicher Anpassungsfähigkeit und einzigartigen inneren Landschaften. Vielleicht erklärt das auch, warum zwei Menschen mit scheinbar ähnlichen Diagnosen oft völlig unterschiedliche Verläufe erleben. Der Organismus reagiert eben nicht standardisiert. Er improvisiert. Kompensiert. Erschöpft sich. Erholt sich. Stabilisiert sich neu. Wie ein riesiger Maschinenraum, der ständig versucht, trotz Belastung weiterzulaufen.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, entstehen Gesundheit und Krankheit innerhalb hochkomplexer Regulations- und Belastungsräume.

**Keine einfachen Antworten** MONA will deshalb keine einfachen Rezepte liefern. Keine: „Sieben Schritte gegen Krebs.“ Keine Wundermittel. Keine endgültigen Antworten. Denn genau dafür ist der menschliche Körper zu komplex.

Und vielleicht beginnt wissenschaftliche Ehrlichkeit genau dort: anzuerkennen, dass moderne Medizin trotz aller Fortschritte noch immer mitten in einer gewaltigen biologischen Expedition steckt.

Vieles wissen wir bereits. Vieles verstehen wir erst ansatzweise. Und manches wird sich vermutlich später als Irrweg herausstellen. Doch genau so entsteht Wissenschaft. Nicht durch starre Gewissheit. Sondern durch: Beobachtung, Korrektur, Neugier und die Bereitschaft, unbekanntes Gelände überhaupt zu betreten.

**Die Karl-May-Metapher** Vielleicht passt deshalb die Karl-May-Metapher dieses Buches so gut.

Auch dort entstanden große innere Landschaften zunächst aus: Andeutungen, Kartenfragmenten, Berichten, Fantasie und dem Versuch, Zusammenhänge erzählbar zu machen.

Die moderne metabolische Medizin bewegt sich in gewisser Weise ähnlich.

Sie kartiert gerade erst jene verborgenen biologischen Räume, in denen: Energie, Entzündung, Regeneration, Immunität und Tumorentwicklung miteinander verwoben sind.

(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, geraten biologische Systeme häufig schleichend unter dauerhafte metabolische Belastung.

**Die offene Expedition** Oder einfacher gesagt: MONA versteht Krebs nicht als isolierten Defekt – sondern als Teil einer viel größeren Geschichte über den inneren Maschinenraum des menschlichen Lebens.

## 9.15. Der stille Kampf des Organismus

Vielleicht bemerkt der Mensch die meiste Zeit gar nicht, wie viel Arbeit sein Körper eigentlich leistet.

Während draußen Alltag läuft, Gespräche geführt werden, Termine drängen und Bildschirme flimmern, arbeitet tief im Inneren ein gigantischer biologischer Maschinenraum pausenlos weiter: Zellen reparieren Schäden. Immunzellen kontrollieren Gewebe. Mitochondrien erzeugen Energie. Enzyme steuern chemische Prozesse. Hormone organisieren Signträume. Mikrobiome verhandeln still mit Stoffwechsel und Entzündungen.

Und all das geschieht gleichzeitig. Sekunde für Sekunde.

Vielleicht liegt genau darin die eigentliche Größe des Organismus: nicht in Perfektion, sondern in seiner Fähigkeit, trotz permanenter Belastung weiter Stabilität zu erzeugen.

**Der Organismus kämpft permanent gegen Zerfall** Denn biologisch betrachtet lebt der Mensch ständig gegen den Zerfall an.

Oxidativer Stress entsteht. DNA wird beschädigt. Zellen altern. Entzündungen flammen auf. Proteine verlieren ihre Ordnung. Mikrobielle Gleichgewichte verschieben sich.

Der Körper muss permanent reparieren, ausgleichen und improvisieren.

Wie ein riesiges Kraftwerk, in dem ununterbrochen irgendwo: Leitungen geflickt, Generatoren nachgeregelt, Ventile kontrolliert und überlastete Systeme stabilisiert werden müssen.

Und meistens gelingt das erstaunlich gut. Jahrzehntlang sogar. Doch manchmal beginnt diese innere Ordnung langsam instabil zu werden. Nicht plötzlich. Nicht mit einem einzigen dramatischen Ereignis. Sondern schleichend.

Der Schlaf wird schlechter. Entzündungen bleiben länger aktiv. Stress verschwindet nicht mehr richtig. Der Stoffwechsel verliert seine frühere Flexibilität. Regeneration dauert länger. Der Organismus arbeitet härter für dieselbe Stabilität.

Wie ein alter Maschinenraum, dessen Wartungsmannschaften zunehmend unter Dauerlast arbeiten.

*(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)*

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, entstehen viele Erkrankungen innerhalb komplexer metabolischer und entzündlicher Belastungslandschaften.

**Der Tumor als Ausdruck biologischer Instabilität** Genau dort entstehen vielleicht jene biologischen Übergangszonen, die moderne metabolische Forschung heute so intensiv untersucht. Denn Krebs erscheint aus dieser Perspektive nicht bloß als isolierter Defekt. Sondern als Ausdruck eines Organismus, dessen innere Kontroll- und Reparatursysteme an bestimmten Stellen ihre Stabilität verlieren. Natürlich bleibt der menschliche Körper trotzdem erstaunlich widerstandsfähig. Selbst unter schwersten Belastungen kämpft der Organismus weiter: gegen Entzündungen, gegen Stoffwechselchaos, gegen Energiekrisen, gegen Zellschäden. Still. Unauffällig. Biologisch. Vielleicht spricht man deshalb zu oft nur über den Tumor und zu selten über jene enorme Leistung des Körpers selbst. Denn selbst eine schwere Erkrankung bedeutet nicht, dass der Organismus „aufhört“. Im Gegenteil: Der gesamte innere Maschinenraum versucht häufig bis zuletzt, Ordnung gegen das zunehmende Chaos aufrechtzuerhalten. Und genau darin liegt vielleicht auch eine stille Form menschlicher Würde. Nicht im perfekten Funktionieren. Sondern in dieser unglaublichen biologischen Beharrlichkeit.

**Die Medizin betrachtet wieder den ganzen Menschen** Die moderne Medizin beginnt deshalb langsam, den Organismus wieder stärker als Ganzes zu betrachten: nicht nur als Sammlung einzelner Diagnosen, sondern als dynamisches Versorgungssystem voller: Rückkopplungen, Regenerationsräume, metabolischer Anpassung und empfindlicher Gleichgewichte.

Vielleicht liegt genau dort die tiefere Bedeutung metabolischer Medizin: nicht bloß Krankheit zu bekämpfen, sondern die Bedingungen besser zu verstehen, unter denen biologische Stabilität überhaupt möglich bleibt.

*(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)*

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, geraten biologische Systeme häufig schleichend unter dauerhafte metabolische Belastung.

**Der eigentliche Kampf beginnt früh** Oder einfacher gesagt: Der wichtigste Kampf gegen Krebs findet möglicherweise nicht erst im sichtbaren Tumor statt – sondern lange vorher, tief im still arbeitenden Maschinenraum des Organismus selbst.

## 9.16. Die Grenzen der Medizin

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Resistenz=Faehigkeit(Anpassung)

Vorhersageunsicherheit=Unsicherheit(Vorhersage)

Der moderne Mensch glaubt gern an Kontrolle.

Für jedes Problem müsse es irgendwo: eine Therapie, eine Technologie, eine Operation, eine neue Tablette oder wenigstens einen Algorithmus geben, der die Sache irgendwann löst.

Und tatsächlich hat die Medizin in den letzten hundert Jahren Dinge erreicht, die früher beinahe wie Magie gewirkt hätten: Antibiotika, Organtransplantationen, Immuntherapien, molekulare Diagnostik, künstliche Beatmung und gezielte Krebsmedikamente.

Der Mensch hat gelernt, tief in den inneren Maschinenraum des Körpers einzugreifen. Und trotzdem stößt Medizin immer wieder an Grenzen.

**Der Tumor als bewegliches Ziel** Gerade Krebs zeigt das besonders deutlich. Denn der Tumor verhält sich eben nicht wie ein simpler technischer Defekt mit klar austauschbarem Bauteil.

Der Krebs verändert sich: passt sich an, umgeht Therapien, organisiert neue Stoffwechselwege, nutzt alternative Energiequellen und reagiert auf seine Umgebung.

Wie ein improvisierender Schattenbetrieb innerhalb eines gigantischen biologischen Kraftwerks. Vielleicht liegt genau darin die eigentliche Schwierigkeit: Die Medizin kämpft nicht gegen etwas vollständig Fremdes. Sondern gegen entgleiste Prozesse des Lebens selbst.

Und genau deshalb existieren bis heute: Rückfälle, Resistenzen, unerwartete Verläufe und biologische Widersprüche, die sich nicht vollständig kontrollieren lassen.

Interessanterweise erzeugt moderne Hochleistungsmedizin dabei manchmal selbst eine paradoxe Erwartungshaltung. Viele Menschen glauben unbewusst: Wenn die Technik nur weit genug entwickelt wird, müsse Krankheit irgendwann vollständig beherrschbar sein. Doch der menschliche Körper bleibt kein geschlossenes technisches System.

## 9. Integration, Grenzen und Ausblick

Eher eine riesige lebendige Landschaft voller: Rückkopplungen, Zufälle, Anpassungen, Alterungsprozesse und biologischer Unsicherheit.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, entstehen viele Krankheitsverläufe innerhalb komplexer biologischer Wechselwirkungen und nichtlinearer Prozesse.

**Die Demut moderner Medizin** Vielleicht beginnt genau dort die eigentliche Demut der Medizin. Nicht im Aufgeben. Sondern im ehrlichen Anerkennen von Komplexität. Denn Wissenschaft arbeitet niemals mit absoluter Sicherheit. Sie bewegt sich: beobachtend, experimentierend, korrigierend und oft tastend vorwärts. Wie Expeditionen durch unbekanntes Gelände. Besonders sichtbar wird das in der Krebsforschung.

Manche Therapien wirken bei einem Patienten spektakulär gut und bei einem anderen kaum. Manche Tumoren verschwinden jahrelang und kehren plötzlich zurück. Andere entwickeln sich trotz schlechter Prognose erstaunlich langsam.

Der Organismus reagiert eben nicht standardisiert. Jeder Körper besitzt: eigene Stoffwechselräume, eigene Belastungsgeschichten, eigene Immunreaktionen, eigene genetische Verwundbarkeiten und eigene biologische Stabilitätsgrenzen. Und genau deshalb bleibt Medizin trotz aller Technologie letztlich immer auch Arbeit mit Unsicherheit. Vielleicht ist das schwer auszuhalten. Gerade in einer Zeit, die überall: Optimierung, Planbarkeit, Effizienz und Kontrolle verspricht. Doch biologisches Leben funktioniert nicht wie ein perfekt berechenbares Industrieprogramm.

Der Körper improvisiert permanent. Er kompensiert. Er erschöpft sich. Er regeneriert sich. Er scheitert manchmal. Und manchmal stabilisiert er sich überraschend wieder.

Wie ein alter Maschinenraum, der trotz Überlastung plötzlich doch noch einmal ruhig zu laufen beginnt.

**Die eigentliche Aufgabe der Medizin** Vielleicht besteht die eigentliche Größe moderner Medizin deshalb nicht darin, Unsterblichkeit zu erzeugen. Sondern darin, Leiden zu lindern, Zeit zu gewinnen, Stabilität zu unterstützen und biologische Ordnung möglichst lange aufrechtzuerhalten. Nicht jede Krankheit lässt sich besiegen. Aber oft lässt sich: Lebensqualität erhalten, Schmerz reduzieren, Orientierung geben und Hoffnung bewahren. Und vielleicht ist genau das am Ende viel menschlicher als jede Vorstellung totaler technischer Kontrolle.

(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, geraten biologische Systeme häufig schleichend unter dauerhafte metabolische Belastung.

**Die offene Grenze des Wissens** Oder einfacher gesagt:

Die wichtigste Erkenntnis moderner Medizin könnte sein, dass selbst die beste Wissenschaft den inneren Maschinenraum des Menschen niemals vollständig beherrschen wird

–  
sondern ihn immer nur ein kleines Stück besser verstehen kann.

## 9.17. Das metabolische Gedächtnis des Körpers

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

$\text{Belastungsgedächtnis} = \text{Gedächtnis}(\text{Belastung})$

Der menschliche Körper vergisst erstaunlich wenig. Nicht im bewussten Sinn. Sondern biologisch.

Jahre von Stress hinterlassen Spuren. Chronische Entzündungen verändern Gewebe. Schlafmangel verschiebt hormonelle Rhythmen. Überernährung verändert Stoffwechselräume. Schadstoffe lagern sich ein. Mikrobiome verändern sich. Mitochondrien reagieren auf Dauerbelastung.

Der Organismus trägt gewissermaßen eine Art metabolisches Gedächtnis in sich. Vielleicht erklärt genau das auch, warum viele Erkrankungen nicht plötzlich entstehen, sondern sich oft über Jahrzehnte langsam vorbereiten.

Wie in einem riesigen Maschinenraum, in dem kleine Überlastungen zunächst kaum auffallen: eine überhitzte Leitung hier, eine instabile Pumpe dort, ein provisorisch repariertes Ventil irgendwo tief im System.

Nichts davon führt sofort zur Katastrophe. Doch irgendwann beginnt sich die Summe dieser Belastungen auf die Stabilität des gesamten Organismus auszuwirken.

**Biologische Erinnerung** Interessanterweise zeigen moderne Forschungen immer deutlicher, dass Zellen auf frühere Belastungen reagieren können. Entzündungszustände, metabolischer Stress oder hormonelle Übersteuerung verändern teilweise langfristig: Genaktivität, Signallräume, Immunreaktionen und Stoffwechselprogramme. Nicht unbedingt durch klassische Mutationen allein. Sondern auch durch epigenetische Veränderungen und dauerhafte Anpassungsprozesse biologischer Systeme. Der Körper merkt sich Belastung gewissermaßen funktionell. Vielleicht entsteht genau dort eine neue Sicht auf Gesundheit. Nicht als starrer Zustand.

Sondern als Ergebnis einer langen biologischen Geschichte: Ernährung, Stress, Umwelt, Schlaf, Infektionen, Alterung, Regeneration und metabolische Anpassung greifen über Jahre ineinander.

Der Organismus wird dadurch zu einer Art lebender Chronik seiner eigenen Belastungen.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, wirken chronische Belastungen oft über lange Zeiträume auf biologische Regulationssysteme ein.

**Chronische Alarmzustände** Besonders faszinierend bleibt dabei die Rolle chronischer Entzündungen.

Viele kleine Reizzustände verschwinden nicht vollständig, sondern halten bestimmte biologische Systeme dauerhaft in leichter Alarmbereitschaft: Immunreaktionen bleiben aktiviert, oxidativer Stress steigt, Mitochondrien geraten unter Druck und Reparaturprogramme laufen permanent im Hintergrund.

Wie ein Kraftwerk, das niemals mehr vollständig herunterkühlt. Genau dort entstehen möglicherweise jene instabilen biologischen Übergangszonen, die moderne Krebsforschung zunehmend interessieren. Denn Krebs erscheint aus dieser Perspektive nicht bloß als plötzlicher Einzeldefekt. Sondern als möglicher Endpunkt langer metabolischer Belastungsgeschichten. Natürlich bedeutet das ausdrücklich nicht: dass jede Krankheit „selbst verursacht“ wäre. Der menschliche Körper bleibt viel zu komplex für einfache Schuldmodelle. Genetik, Zufall, Umwelt und Alterung spielen enorme Rollen. Viele Menschen leben gesund und erkranken trotzdem. Andere überstehen extreme Belastungen erstaunlich stabil. Und trotzdem scheint der Organismus Erfahrungen biologisch zu speichern. Vielleicht nicht als Erinnerung im menschlichen Sinn. Aber als veränderte Stabilitätslandschaft.

**Die Bedeutung von Regeneration** Interessanterweise könnte genau deshalb Regeneration so wichtig sein.

Schlaf, Bewegung, Entzündungsreduktion, metabolische Entlastung und stabile Rhythmen wirken möglicherweise nicht deshalb positiv, weil sie irgendeinen magischen Schutzschild erzeugen.

Sondern weil sie dem Organismus helfen, seine innere Ordnung überhaupt wieder zu stabilisieren. Der Körper braucht offenbar Phasen, in denen: Reparatur, Entgiftung, Immunregulation und metabolische Neuorganisation möglich bleiben. Ohne solche Regenerationsräume arbeitet der innere Maschinenraum irgendwann dauerhaft im Krisenmodus.

*(Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)*

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, entstehen metabolische Krisenzustände häufig schleichend über lange Zeiträume.

**Die stille Speicherung biologischer Erfahrung** Vielleicht ist genau das das eigentliche metabolische Gedächtnis: nicht bloß die Speicherung vergangener Belastung, sondern die langsame Veränderung biologischer Stabilität über Zeit. Oder einfacher gesagt: Der Körper erinnert sich möglicherweise an viel mehr, als der Mensch selbst jemals

bewusst wahrnimmt – tief in seinen Stoffwechseln, Zellräumen und still arbeitenden biologischen Systemen.

## 9.18. Finale Landkarte des inneren Menschen

### Neue Begriffe dieses Abschnitts

Stabilitaetsbalance=Balance(Stabilitaet)

Vielleicht endet jede große Reise irgendwann an genau demselben Punkt: nicht bei den Antworten, sondern bei einem veränderten Blick auf die Welt.

Dieses Buch begann mit Krebs. Mit Stoffwechsel. Mit Tumoren, Entzündungen, Mitochondrien und biologischen Signalräumen.

Doch je weiter die Reise durch den inneren Maschinenraum des Menschen führte, desto deutlicher wurde: Eigentlich ging es die ganze Zeit um etwas viel Größeres.

Um das fragile Gleichgewicht des Lebens selbst.

**Der Organismus als lebende Landschaft** Denn der menschliche Körper ist vermutlich kein mechanisches Objekt, das irgendwann einfach „kaputtgeht“.

Eher ein riesiges lebendes System, das ununterbrochen versucht: Ordnung gegen Chaos, Stabilität gegen Zerfall, Regeneration gegen Überlastung und Leben gegen Entropie aufrechtzuerhalten.

Milliarden Prozesse laufen gleichzeitig. Unsichtbar. Lautlos. Tag und Nacht.

Mitochondrien erzeugen Energie. Immunzellen kontrollieren Gewebe. Hormone organisieren Kommunikation. Mikrobiome verhandeln mit Entzündungen. Zellen reparieren Schäden. Der Stoffwechsel verteilt Ressourcen. Der Organismus improvisiert permanent Stabilität.

Wie eine gigantische unterirdische Stadt voller: Kraftwerke, Leitungen, Tunnel, Wartungstrupps und biologischer Schaltzentralen. Und mitten darin entsteht manchmal Krebs. Nicht als fremde Macht außerhalb des Lebens. Sondern aus denselben Prozessen heraus, die eigentlich: Wachstum, Heilung, Anpassung und Überleben ermöglichen. Vielleicht macht genau das die Krankheit so schwer verständlich. Der Tumor ist biologisch gesehen nicht vollkommen fremd. Er ist entgleiste Ordnung. Ein Schattenbetrieb innerhalb des Systems selbst.

(Siehe Abb. 7.6, Seite 166.)

Wie in Abbildung 7.6, Seite 166 sichtbar wird, arbeitet der Organismus permanent daran, biologische Stabilität trotz vielfältiger Belastungen aufrechtzuerhalten.

**Die Würde biologischer Beharrlichkeit** Und trotzdem bleibt etwas Erstaunliches: Der Organismus kämpft fast immer weiter.

Selbst unter schwerster Belastung versucht der Körper: Energie neu zu organisieren, Entzündungen zu kontrollieren, Gewebe zu reparieren und trotz Chaos Stabilität aufrechtzuerhalten.

Vielleicht liegt genau darin die eigentliche Würde biologischen Lebens. Nicht in Perfektion. Sondern in dieser unfassbaren Beharrlichkeit gegen den Zerfall. Die metabolische Perspektive verändert deshalb letztlich nicht nur den Blick auf Krebs. Sie verändert den Blick auf den Menschen selbst. Plötzlich erscheint Gesundheit nicht mehr als bloße Abwesenheit von Krankheit. Sondern als dynamischer Zustand biologischer Balance: zwischen Belastung und Regeneration, zwischen Energieverbrauch und Reparatur, zwischen Ordnung und Instabilität. Und vielleicht liegt genau dort auch die wichtigste Botschaft dieses Buches: Der Mensch lebt nicht außerhalb seiner Biologie. Er lebt mitten in ihr. Mitten in Stoffwechseln. Mitten in Rhythmen. Mitten in mikrobiellen Landschaften, hormonellen Signträumen und still arbeitenden Reparaturprogrammen.

**Die Medizin der Zukunft** Vielleicht beginnt die Medizin der Zukunft deshalb nicht erst beim Tumor. Sondern viel früher.

Dort, wo der Organismus noch versucht: Balance zu halten, Entzündungen zu begrenzen, Rhythmus zu bewahren und trotz aller Belastungen biologisch stabil zu bleiben.

Natürlich wird Wissenschaft auch in Zukunft keine endgültigen Wahrheiten besitzen. Neue Erkenntnisse werden alte Modelle verändern. Manche Theorien werden bestätigt. Andere wieder verschwinden. Doch vielleicht bleibt am Ende eine zentrale Erkenntnis bestehen: Der menschliche Körper ist kein starres Objekt. Er ist eine lebendige metabolische Landschaft. Empfindlich. Anpassungsfähig. Verletzlich. Widerstandsfähig. (Siehe Abb. 8.2, Seite 194.)

Wie in Abbildung 8.2, Seite 194 dargestellt, entstehen viele biologische Krisenzustände schleichend innerhalb langfristiger metabolischer Belastungen.

**Die stille Landschaft des Lebens** Und tief im Inneren arbeitet dieser gigantische biologische Maschinenraum jede einzelne Sekunde daran, das fragile Wunder des Lebens überhaupt möglich zu machen.

Oder einfacher gesagt: Die größte Entdeckung moderner Medizin könnte am Ende sein, dass Gesundheit nicht irgendwo außerhalb des Menschen existiert – sondern mitten in den stillen, unsichtbaren Landschaften seines inneren Lebensraums.

## Die wichtigsten Erkenntnisse dieses Kapitels

- Krebs ist eine Systemerkrankung: Stoffwechsel, Immunologie, Entzündung und Regeneration hängen zusammen.
- Ernährung kann unterstützen — ersetzt aber weder Diagnostik noch evidenzbasierte Therapien.
- Wissenschaft lebt von Korrektur, Zweifel und neuer Evidenz — Dogmen sind hier fehl am Platz.
- MONA bietet eine metabolische Landkarte, keine abschließende Wahrheit oder Heilversprechen.
- Patienten, Angehörige und Ärzte teilen Verantwortung für Information, Entscheidung und menschliche Begleitung.
- Hoffnung und Realismus gehören zusammen — biologisches Verstehen kann Orientierung geben.
- Die offene Frage bleibt: Wie stabil halten wir Regulationsräume in einem überforderten Organismus?
- Das Buch will begleiten: verstehen, einordnen, fragen — nicht allein behandeln.

## Was Sie konkret tun können

*Orientierung und Selbstorganisation — keine medizinischen Anweisungen.*

- **Persönliche Landkarte erstellen:** Was wurde Ihnen erklärt? Was ist offen? Was hilft Ihnen im Alltag?
- **Gespräche führen:** Mit Ärztinnen, Angehörigen, Selbsthilfe — Verständnis wächst im Dialog.
- **Informationsflut begrenzen:** Feste Zeiten fürs Recherchieren; verlässliche Quellen bookmarken.
- **Langfristig denken:** Regeneration, Nachsorge und Lebensqualität sind Teil des Weges.
- **Bei Unsicherheit** immer das behandelnde Team fragen — nicht isoliert entscheiden.

**Fallbeispiel: Kommunikation mit dem Onkologenteam**

Eine Patientin fühlt sich nach dem Lesen vieler Bücher „schlauer als die Ärzte“. Im Termin erzählt sie statt zu fragen; das Gespräch verläuft frustrierend. Beim nächsten Mal bringt sie eine Liste mit drei konkreten Fragen mit und bittet um eine Minute Bedenkzeit. Das Team erklärt den Therapieplan strukturiert — sie fühlt sich gehört, ohne Heilversprechen zu erwarten.

Kein Einzelfall aus der Praxis; keine Heilungsaussage.

## 10. Schlusswort der Autoren

### Ihr Nutzen

Nach diesem Kapitel wissen Sie ...

- die Haltung dieses Buches noch einmal bündeln,
- Orientierung, Eigenverantwortung und Grenzen klar trennen,
- Fragen für das Gespräch mit dem Behandlungsteam mitnehmen.

### Wann ist das wichtig?

Am Ende der Lektüre — als persönlicher Abschluss.

### Was Sie sich merken sollten

- Wissen strukturiert Angst, ersetzt aber keine Therapie.
- Metabolische Perspektiven ergänzen die Onkologie, ersetzen sie nicht.
- Gute Fragen sind ein legitimer Beitrag zur Entscheidung.

### Fragen für Ihren Arzt

- Welche offenen Punkte soll ich als Nächstes mit meinem Team klären?
- Welche Lebensstilmaßnahmen sind für mich realistisch neben der Therapie?

Orientierung für das Gespräch — keine Therapieanweisung.

### Sofort handeln, wenn ...

Bei akuter Verschlechterung: Teil I und Notruf 112 — nicht dieses Schlusswort.

Im Zweifel immer ärztliche Hilfe suchen (Notruf 112).

### Vertiefung

Fachliche Vertiefung bleibt in Teil II und Teil III verfügbar.

Wenn Sie bis hierher gelesen haben, haben Sie eine bemerkenswerte Strecke zurückgelegt. MONA ist kein kurzer Ratgeber und keine Checkliste. Es ist der Versuch, Krebs als Ganzes sichtbar zu machen — als biologisches, metabolisches, psychisches und soziales Geschehen zugleich. Am Ende dieses Weges möchten wir Ihnen als Autoren ein persönliches Wort mitgeben.

**Was wir Ihnen mit auf den Weg geben möchten** Erstens: *Orientierung statt Ohnmacht*. Eine Krebsdiagnose oder auch nur der Verdacht darauf kann das innerste Fundament erschüttern. Wissen ersetzt keine Behandlung — aber es kann die Angst strukturierbar machen. Wenn Sie verstehen, was eine Biopsie leistet, was Staging bedeutet oder warum das Immunsystem im Tumor eine Rolle spielt, gewinnen Sie Raum für gezielte Fragen an Ihr Behandlungsteam.

Zweitens: *Stoffwechsel verstehen, ohne dogmatisch zu werden*. Die metabolische Perspektive in diesem Buch — von Mitochondrien über den Warburg-Effekt bis zu Ernährung, Fasten und Entzündung — soll erweitern, nicht verengen. Sie ist eine Ergänzung zur schulmedizinischen Onkologie, kein Ersatz. Wer Ernährung, Bewegung, Schlaf und Stress ernst nimmt, handelt nicht „gegen“ die Medizin, sondern *mit* ihr — im Rahmen dessen, was individuell vertretbar ist.

Drittens: *Eigenverantwortung und Bescheidenheit*. Eigenverantwortung heißt: Befunde mitnehmen, nachfragen, Lebensstil reflektieren, Unterstützung annehmen. Bescheidenheit heißt: Kein Buch, kein Internetforum und keine Einzelstudie kann Ihre persönliche Situation vollständig abbilden. Grenzen medizinischer Erkenntnis sind kein Versagen — sie sind Teil ehrlicher Wissenschaft.

**Zusammenarbeit mit Ärzten** Die besten Entscheidungen entstehen selten im Alleingang. Hausarzt, Fachärzte, Pflege, Psychoonkologie, Palliativmedizin, Ernährungsberatung — je nach Fall ein ganzes Netzwerk. MONA möchte Sie ermutigen, dieses Netzwerk aktiv zu nutzen: Termine vorzubereiten, Befunde zu verstehen, Zweitmeinungen einzuholen, wenn Sie unsicher sind, und Angehörige einzubeziehen.

Therapieentscheidungen gehören in interdisziplinäre Gespräche — Tumorboards, Aufklärungsgespräche, Verlaufskontrollen. Ihre Erfahrungen, Werte und Grenzen sind Teil dieser Entscheidung. Das ist keine Schwäche, sondern Qualität.

**Patientenfrage: Wie nutze ich dieses Buch im Gespräch mit meinem Arzt?**

Bringen Sie konkrete Fragen mit — nicht ganze Kapitel als „Beweis“. Beispiele: *Was halten Sie von der metabolischen Perspektive in meinem Fall? Welche Lebensstilmaßnahmen sind für mich realistisch neben der Therapie? Gibt es Zusammenhänge zwischen meinen Begleiterkrankungen und dem Stoffwechsel?*

Keine Therapieempfehlung — Orientierung für Gespräche mit behandelnden Ärztinnen und Ärzten.

**Hoffnung ohne Heilsversprechen** Wir glauben an die Kraft des verstehenden Menschen — und an die Fortschritte der Medizin. Immuntherapien, präzisionsonkologische Verfahren, bessere Diagnostik und ganzheitliche Betreuung haben vielen Betroffenen geholfen. Gleichzeitig wissen wir: Nicht jeder Verlauf ist heilbar, nicht jede Therapie wirkt, nicht jede Hoffnung geht in Remission auf.

Hoffnung darf deshalb realistisch sein. Sie kann bedeuten: Zeit gewinnen, Lebensqualität erhalten, Schmerzen lindern, Beziehungen vertiefen, Sinn finden — auch jenseits der Remission. MONA soll weder Angst schüren noch Heilung versprechen. Es soll begleiten.

**Fallbeispiel: Ein Satz, der bleibt**

Eine Leserin schreibt uns nach Monaten: Sie habe nicht „alles verstanden“, aber zum ersten Mal das Gefühl, *fragen zu dürfen*. Ihr Onkologe habe die Liste mitgenommen und drei Punkte sofort beantwortet, zwei für das Tumorboard vorgemerkt. „Ich war nicht schlauer als vorher — aber ich war nicht mehr allein mit dem Wörterbuch in meinem Kopf.“

Kein Einzelfall aus der Praxis; keine Heilungsaussage.

**Ein offenes Kapitel** Krebsforschung bleibt in Bewegung. Was heute Hypothese ist, kann morgen widerlegt oder bestätigt werden. MONA versteht sich deshalb als *offene Landkarte* — nicht als letzte Wahrheit. Detlef Schulz hat über Jahrzehnte metabolische und systemische Perspektiven verfolgt; Hermann Bense hat die technische und sprachliche Infrastruktur dieses Werks mitgestaltet. Wir stehen gemeinsam hinter dem Anspruch, Wissenschaft und Menschlichkeit zu verbinden.

### Das Wichtigste zum Abschluss

- Krebs verstehen heißt: Zusammenhänge sehen — nicht allein Symptome oder Diagnosen.
- Stoffwechsel, Immunsystem, Entzündung und Lebensstil gehören zur Einordnung dazu.
- Therapieentscheidungen treffen Sie gemeinsam mit Fachleuten — informiert, nicht isoliert.
- Hoffnung braucht keinen Heilsversprechen-Charakter; sie braucht Ehrlichkeit und Begleitung.
- Dieses Buch ist ein Anfang — Ihr Leben und Ihr Weg bleiben einzigartig.

**Dank** Wir danken allen Leserinnen und Lesern, die uns mit Fragen, Kritik und Rückmeldungen begleitet haben — besonders Detlef Schulz für seine unermüdliche inhaltliche Arbeit und Hermann Bense für die technische und redaktionelle Umsetzung dieses Buchprojekts. Danke an die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, deren Arbeit in den Fußnoten und im Personenindex steht. Danke an die Betroffenen, die uns erinnert haben, *wofür* jedes Kapitel geschrieben wurde.

*Detlef Schulz und Hermann Bense*

*Im Namen des MONA-Projekts — Krebs als Stoffwechselkrankheit verstehen, ohne die Komplexität des Lebendigen zu vergessen.*

### Was Sie sich merken sollten

- MONA bietet Orientierung — keine Therapieanleitung und keine Heilsversprechen.
- Die Stoffwechselperspektive ergänzt die schulmedizinische Onkologie; sie ersetzt sie nicht.
- Gute Versorgung entsteht in Partnerschaft mit Ihrem medizinischen Team.
- Realistische Hoffnung umfasst Lebensqualität, Sinn und Zeit — nicht nur Remission.
- Wissenschaft bleibt offen; bleiben Sie neugierig und kritisch.
- Ihr individueller Weg ist wichtiger als jede allgemeine Regel.

# Glossar und semantische Begriffskarten

Dieses Glossar dient nicht nur als klassisches Begriffsverzeichnis, sondern zugleich als semantische Orientierungskarte des biologischen Maschinenraums. Viele Begriffe werden zusätzlich in vereinfachter Deriver-Schreibweise rekonstruiert, um ihre inneren Zusammenhänge sichtbar zu machen.

Die Rekonstruktionen ersetzen keine vollständigen wissenschaftlichen Definitionen. Sie sollen vielmehr helfen, Fachbegriffe intuitiver einzuordnen und die metabolischen Zusammenhänge des Buches besser lesbar zu machen.

## A

### Angiogenese

Angiogenese=Bildung(Blutgefäß)

Biologischer Prozess der Neubildung von Blutgefäßen. Tumoren nutzen Angiogenese, um ihre Versorgung mit Sauerstoff und Nährstoffen auszubauen.

### Apoptose

Apoptose=Prozess(Zelltod)

Kontrollierter biologischer Zelltod. Beschädigte oder gefährliche Zellen werden normalerweise durch Apoptose entfernt.

### Autophagie

Autophagie=Prozess(Selbstrecycling)

Zellulärer Recyclingprozess, bei dem beschädigte Bestandteile abgebaut und wiederverwertet werden.

## **C**

### **Chemotherapie**

Chemotherapie=Therapie(Zellschädigung)

Behandlungsmethode, bei der Krebszellen durch chemische Wirkstoffe geschädigt oder an ihrer Teilung gehindert werden.

## **D**

### **DNA**

DNA=Speicher(Information)

Träger der genetischen Information innerhalb der Zellen.

## **E**

### **Enzym**

Enzym=Protein(Reaktion)

Biologischer Katalysator, der chemische Prozesse innerhalb des Körpers ermöglicht oder beschleunigt.

### **Entzündung**

Entzündung=Reaktion(Schaden)

Biologische Schutz- und Reparaturreaktion des Körpers auf Verletzungen, Infektionen oder Zellstress.

## **G**

### **Gen**

Gen=Abschnitt(DNA)

Teil der DNA mit biologischer Informationsfunktion.

## **Gewebe**

Gewebe=Verband(Zelle)

Zusammenschluss ähnlicher Zellen mit gemeinsamer biologischer Funktion.

## **Glukose**

Glukose=Stoff(Energie)

Einfachzucker und zentrale Energiequelle vieler Körperzellen.

## **H**

### **Hyperthermie**

Hyperthermie=Therapie(Waerme)

Therapieform, bei der Tumorgewebe gezielt erhitzt wird, um Krebszellen metabolisch unter Druck zu setzen.

### **Hypoxie**

Hypoxie=Zustand(Sauerstoffmangel)

Sauerstoffmangel innerhalb biologischer Gewebe. Viele Tumoren enthalten hypoxische Regionen.

## **I**

### **Immunsystem**

Immunsystem=System(Abwehr)

Komplexes biologisches Schutzsystem zur Erkennung und Bekämpfung von Krankheitserregern und beschädigten Zellen.

### **Immuntherapie**

Immuntherapie=Therapie(Immunaktivierung)

Krebstherapie, die körpereigene Immunreaktionen gegen Tumorzellen verstärken soll.

## **K**

### **Ketonkörper**

Ketonkoerper=Stoff(Ersatzenergie)

Alternative Energieträger des Körpers, die insbesondere bei Fasten oder ketogener Ernährung entstehen.

### **Krebs**

Krebs=Prozess(Entgrenzung)

Sammelbegriff für Erkrankungen mit fehlreguliertem Zellwachstum und gestörter biologischer Kontrolle.

## **M**

### **Metastase**

Metastase=Ausbreitung(Tumor)

Tochtertumor, der durch Ausbreitung von Krebszellen entsteht.

### **Mikrobiom**

Mikrobiom=System(Mikroorganismus)

Gesamtheit der Mikroorganismen, die den menschlichen Körper besiedeln.

### **Mitochondrium**

Mitochondrium=Organell(Energieproduktion)

Zellorganell mit zentraler Bedeutung für Energiegewinnung, Zellatmung und metabolische Regulation.

## **O**

### **Onkologie**

Onkologie=Lehre(Tumor)

Medizinisches Fachgebiet zur Erforschung und Behandlung von Tumorerkrankungen.

## **Onkologe**

Onkologe=Arzt(Onkologie)

Facharzt für Tumorerkrankungen und Krebsbehandlung.

## **Organ**

Organ=System(Gewebe)

Biologische Funktionseinheit des Körpers, die aus verschiedenen Geweben aufgebaut ist.

## **Organell**

Organell=Bestandteil(Zelle)

Spezialisierte Untereinheit innerhalb einer Zelle mit bestimmter biologischer Funktion.

## **Oxidativer Stress**

Oxidationsstress=Stress(Oxidation)

Biologischer Zustand erhöhter Belastung durch reaktive Sauerstoffverbindungen.

## **P**

### **Propädeutik**

Propaedeutik=Vorbereitung(Verstaendnis)

Einführende Vorbereitung auf einen komplexen Wissensbereich.

## **Protein**

Protein=Werkzeug(Zelle)

Eiweißmolekül mit strukturellen, regulatorischen oder enzymatischen Funktionen.

## **S**

### **Stoffwechsel**

Stoffwechsel=Prozess(Energieumwandlung)

Gesamtheit aller biologischen Prozesse zur Energiegewinnung und Stoffumwandlung.

## **T**

### **Tumor**

Tumor=Gewebe(Fehlwachstum)

Gewebe mit unkontrollierter oder fehlregulierter Zellvermehrung.

### **Tumormikromilieu**

Tumormikromilieu=Mikromilieu(Tumor)

Biologische Umgebung eines Tumors aus Gefäßen, Immunzellen, Signalstoffen und Stoffwechselräumen.

## **Z**

### **Zelle**

Zelle=Einheit(Leben)

Kleinste selbstständig funktionierende Einheit biologischen Lebens.

### **Zellatmung**

Zellatmung=Prozess(Energiegewinnung)

Biologischer Prozess der Energieproduktion innerhalb der Zellen.

# Medizinisches Vokabelheft

Dieses Vokabelheft ergänzt das semantische Glossar (Anhang A). Es ordnet zentrale Fachbegriffe alphabetisch — mit Kurzerklärung, Deriver-Ableitung und Verweisen auf die ausführlichere Behandlung im Buch. Die Schreibweise **Begriff=Grundbegriff(Spezifikation)** soll helfen, Begriffe aus Bausteinen zu rekonstruieren, statt sie auswendig zu lernen.

## Thematische Begriffsfamilien

### Stoffwechsel

Glukose, Glykolyse, Zellatmung, ATP, Ketonkörper, Mitochondrium, Warburg-Effekt, Stoffwechsel

### Tumorbiologie

Tumor, Metastase, Hypoxie, Angiogenese, Tumormikromilieu, Apoptose, Autophagie

### Immunologie

Immunsystem, Antikörper, Immuntherapie, T-Zelle, Checkpoint-Inhibitor, Entzündung

### Therapie

Chemotherapie, Zytostatikum, Immuntherapie, Hyperthermie, Bestrahlung, Operation

### Zellregulation

Apoptose, Autophagie, Telomer, DNA-Reparatur, p53, Epigenetik

## **Alphabetisches Vokabelheft**

### **Angiogenese**

**Kurz erklärt:** Angiogenese bezeichnet die Neubildung von Blutgefäßen. Tumoren können diesen Prozess nutzen, um ihre Versorgung mit Sauerstoff und Nährstoffen zu verbessern.

#### **Begriffsableitung:**

Angiogenese=Bildung(Blutgefäße)

**Ausführlich erklärt:** S. [175](#)

### **Apoptose**

**Kurz erklärt:** Apoptose ist der programmierte Zelltod. Er hilft dem Körper, beschädigte oder gefährliche Zellen kontrolliert zu entfernen.

#### **Begriffsableitung:**

Apoptose=Selbstzerstörung(Zelle)

**Ausführlich erklärt:** S. [177](#)

### **Autophagie**

**Kurz erklärt:** Autophagie ist ein zellulärer Recyclingprozess: Der Zellinhalt wird abgebaut und wiederverwertet — besonders unter Energie- oder Nährstoffmangel.

#### **Begriffsableitung:**

Autophagie=Recycling(Zelle)

**Ausführlich erklärt:** S. [48](#)

### **Chemotherapie**

**Kurz erklärt:** Chemotherapie bezeichnet die Behandlung mit zytostatischen Medikamenten, die vor allem schnell teilende Zellen schädigen — damit auch viele Tumorzellen.

#### **Begriffsableitung:**

Chemotherapie=Therapie(Zellgifte)

**Ausführlich erklärt:** S. [28](#)

## Epigenetik

**Kurz erklärt:** Epigenetik beschreibt, wie Gene ein- und ausgeschaltet werden — ohne die DNA-Sequenz selbst zu verändern. Umwelt und Lebensstil können epigenetische Muster beeinflussen.

### Begriffsableitung:

Epigenetik=Steuerung(Genaktivitaet)

**Ausführlich erklärt:** S. [141](#)

## Hypoxie

**Kurz erklärt:** Hypoxie bedeutet Sauerstoffmangel in einem Gewebe oder in bestimmten Bereichen eines Tumors.

### Begriffsableitung:

Hypoxie=Mangel(Sauerstoff)

**Ausführlich erklärt:** S. [162](#)

## Immuntherapie

**Kurz erklärt:** Immuntherapie nutzt oder verstärkt die körpereigene Abwehr gegen Tumorzellen — z. B. durch Antikörper oder Checkpoint-Inhibitoren.

### Begriffsableitung:

Immuntherapie=Therapie(Abwehraktivierung)

**Ausführlich erklärt:** S. [31](#)

## Metastase

**Kurz erklärt:** Eine Metastase ist ein Tochterherd des Tumors an einer anderen Körperstelle, entstanden durch ausgewanderte Krebszellen.

### Begriffsableitung:

Metastase=Ausbreitung(Tumor)

**Ausführlich erklärt:** S. [109](#)

## Mitochondrium

**Kurz erklärt:** Mitochondrien sind Zellorganellen für Energiegewinnung und zentrale Stoffwechsel-Signalgebung — oft als „Kraftwerke“ der Zelle bezeichnet.

**Begriffsableitung:**

Mitochondrium=Organell(Energieproduktion)

**Ausführlich erklärt:** S. [151](#)

## Stammzelle

**Kurz erklärt:** Stammzellen können sich zu verschiedenen Zelltypen entwickeln. In der Onkologie sind v. a. Blut-Stammzelltransplantationen bei Leukämien etabliert.

**Begriffsableitung:**

Stammzelle=Zelle(Entwicklungsfähigkeit)

**Ausführlich erklärt:** S. [37](#)

## Stoffwechsel

**Kurz erklärt:** Stoffwechsel (Metabolismus) umfasst alle Prozesse, in denen der Körper Nährstoffe in Energie und Baustoffe umwandelt.

**Begriffsableitung:**

Stoffwechsel=Prozess(Energieumwandlung)

**Ausführlich erklärt:** S. [124](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 1.2; Kapitel 2; Kapitel 5; Kapitel 6

## Tumor

**Kurz erklärt:** Ein Tumor ist eine Ansammlung von Gewebe mit abnormalem oder fehlreguliertem Wachstum — nicht jeder Tumor ist bösartig (maligne).

**Begriffsableitung:**

Tumor=Gewebe(Fehlwachstum)

**Ausführlich erklärt:** S. [118](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 0; Kapitel 1; Kapitel 4

### **Tumormikromilieu**

**Kurz erklärt:** Das Tumormikromilieu ist die unmittelbare biologische Umgebung eines Tumors: Gefäße, Immunzellen, Entzündung, Sauerstoff und Stoffwechselprodukte.

**Begriffsableitung:**

Tumormikromilieu=Mikromilieu(Tumor)

**Ausführlich erklärt:** S. [171](#)

### **Warburg-Effekt**

**Kurz erklärt:** Der Warburg-Effekt beschreibt die verstärkte Zuckerabbau-Rate vieler Tumorzellen — auch bei ausreichend Sauerstoff. Grundlage u. a. der PET-Diagnostik.

**Begriffsableitung:**

Warburg-Effekt=Effekt(Warburg)

**Ausführlich erklärt:** S. [158](#)

### **Zellatmung**

**Kurz erklärt:** Zellatmung ist die energiereiche Verwertung von Nährstoffen mit Sauerstoff in den Mitochondrien — Hauptweg der ATP-Produktion.

**Begriffsableitung:**

Zellatmung=Prozess(Sauerstoffenergie)

**Ausführlich erklärt:** S. [151](#)

### **Checkpoint-Inhibitor**

**Kurz erklärt:** Checkpoint-Inhibitoren sind Medikamente, die Bremsen des Immunsystems gegen Tumorzellen lösen — eine Form der Immuntherapie.

**Begriffsableitung:**

Checkpoint-Inhibitor=Medikament(Immunbremse)

**Ausführlich erklärt:** S. [31](#)

## Hyperthermie

**Kurz erklärt:** Hyperthermie bezeichnet die gezielte Erwärmung von Gewebe — in der Onkologie als ergänzende oder experimentelle Tumorthherapie erforscht.

**Begriffsableitung:**

Hyperthermie=Therapie(Waerme)

**Ausführlich erklärt:** S. [35](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 3.4

## PET-Untersuchung

**Kurz erklärt:** PET (Positronen-Emissions-Tomographie) macht stoffwechselaktive Gewebe sichtbar — häufig mit markiertem Zucker (FDG).

**Begriffsableitung:**

PET-Untersuchung=Untersuchung(Stoffwechselbild)

**Ausführlich erklärt:** S. [3](#)

## Tumormarker

**Kurz erklärt:** Tumormarker sind messbare Stoffe im Blut oder Gewebe, die auf eine Tumorerkrankung hinweisen können — selten allein diagnostisch beweisend.

**Begriffsableitung:**

Tumormarker=Messwert(Tumorhinweis)

**Ausführlich erklärt:** S. [3](#)

## Glykolyse

**Kurz erklärt:** Glykolyse ist der Abbau von Glukose zur Energiegewinnung — ohne oder vor der mitochondrialen Atmung.

**Begriffsableitung:**

Glykolyse=Prozess(Zuckerabbau)

**Ausführlich erklärt:** S. [187](#)

## Entzündung

**Kurz erklärt:** Entzündung ist eine körpereigene Schutz- und Reparaturreaktion auf Schaden oder Infektion — chronische Entzündung kann Regulationsräume belasten.

**Begriffsableitung:**

Entzündung = Reaktion(Gewebeschaden)

**Ausführlich erklärt:** S. [171](#)

## Immunsystem

**Kurz erklärt:** Das Immunsystem erkennt und bekämpft Krankheitserreger und abnormal veränderte Zellen — Tumoren entwickeln Strategien zur Umgehung.

**Begriffsableitung:**

Immunsystem=System(Körperabwehr)

**Ausführlich erklärt:** S. [131](#)

## Ketose

**Kurz erklärt:** Ketose ist ein Stoffwechselzustand mit verstärkter Bildung von Ketonkörpern — z. B. bei Fasten oder sehr kohlenhydratarmen Ernährungsformen.

**Begriffsableitung:**

Ketose=Zustand(Fettverbrennung)

**Ausführlich erklärt:** S. [48](#)

## Mikrobiom

**Kurz erklärt:** Das Mikrobiom ist die Gesamtheit der Mikroorganismen im und am Körper — besonders im Darm mit Einfluss auf Immun- und Stoffwechselprozesse.

**Begriffsableitung:**

Mikrobiom=Gemeinschaft(Mikroorganismen)

**Ausführlich erklärt:** S. [199](#)

## **Oxidativer Stress**

**Kurz erklärt:** Oxidativer Stress entsteht, wenn reaktive Sauerstoffverbindungen zelluläre Strukturen übermäßig belasten.

**Begriffsableitung:**

OxidativerStress=Stress(Oxidation)

**Ausführlich erklärt:** S. [127](#)

## **Personalisierte Medizin**

**Kurz erklärt:** Personalisierte Medizin zielt auf Behandlung nach individuellem Tumorprofil, Biomarkern und Patientensituation — statt nur nach Standardschema.

**Begriffsableitung:**

PersonalisierteMedizin=Medizin(Individualisierung)

**Ausführlich erklärt:** S. [51](#)

## **Propädeutik**

**Kurz erklärt:** Propädeutik bedeutet einführende Vorbereitung auf ein Fachgebiet — hier: Begriffsorientierung vor den Hauptkapiteln.

**Begriffsableitung:**

Propdeutik = Vorbereitung(Verstaendnis)

**Ausführlich erklärt:** S. [118](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 0

## **Zytostatikum**

**Kurz erklärt:** Ein Zytostatikum ist ein Medikament, das Zellteilung hemmt — zentraler Bestandteil vieler Chemotherapien.

**Begriffsableitung:**

Zytostatikum=Medikament(Zellteilung)

**Ausführlich erklärt:** S. [28](#)

## Antikörper

**Kurz erklärt:** Antikörper sind Abwehrproteine, die bestimmte Strukturen erkennen. In der Onkologie werden gezielt hergestellte Antikörper therapeutisch eingesetzt.

### Begriffsableitung:

Antikörper = Protein(Erkennung)

**Ausführlich erklärt:** S. [31](#)

## Bestrahlung

**Kurz erklärt:** Bestrahlung (Strahlentherapie) nutzt ionisierende Strahlung, um Tumorgewebe zu schädigen — lokal oder über größere Felder.

### Begriffsableitung:

Bestrahlung=Therapie(Tumorbestrahlung)

**Ausführlich erklärt:** S. [25](#)

## DNA-Reparatur

**Kurz erklärt:** DNA-Reparatur umfasst zelluläre Mechanismen zur Behebung von Schäden an der Erbinformation — deren Ausfall begünstigt Fehlregulation.

### Begriffsableitung:

DNA-Reparatur=Prozess(Schadensbehebung)

**Ausführlich erklärt:** S. [148](#)

## p53

**Kurz erklärt:** p53 ist ein zentraler Kontrollprotein für Zellzyklus und Reparatur — oft als „Wächter des Genoms“ bezeichnet.

### Begriffsableitung:

p53=Protein(Zellkontrolle)

**Ausführlich erklärt:** S. [148](#)

## **Telomer**

**Kurz erklärt:** Telomere sind Schutzkappen an den Enden der Chromosomen; ihre Verkürzung begrenzt die Zellteilungen.

### **Begriffsableitung:**

Telomer=Schutzkappe(Chromosom)

**Ausführlich erklärt:** S. [177](#)

## **VEGF**

**Kurz erklärt:** VEGF ist ein Signalstoff, der Gefäßwachstum anregt — wichtig für Tumorangio-genese und manche Therapien.

### **Begriffsableitung:**

VEGF=Signalstoff(Gefäßwachstum)

**Ausführlich erklärt:** S. [175](#)

## **HIF**

**Kurz erklärt:** HIF (Hypoxia-Inducible Factor) ist ein zentraler Schalter, den Zellen bei Sauerstoffmangel aktivieren.

### **Begriffsableitung:**

HIF=Faktor(Sauerstoffmangel)

**Ausführlich erklärt:** S. [162](#)

## **Onkologie**

**Kurz erklärt:** Onkologie ist das medizinische Fachgebiet für Tumorerkrankungen — Forschung, Diagnose und Therapie.

### **Begriffsableitung:**

Onkologie=Lehre(Tumor)

**Ausführlich erklärt:** S. [3](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 1; Kapitel 3; Kapitel 4

## **Leukämie**

**Kurz erklärt:** Leukämie ist eine Krebsart des blutbildenden Systems — abnormal vermehrte weiße Blutzellen im Knochenmark und Blut.

### **Begriffsableitung:**

Leukmie = Krebsart(Blutsystem)

**Ausführlich erklärt:** S. [102](#)

## **Insulin**

**Kurz erklärt:** Insulin ist ein Hormon zur Regulierung des Blutzuckers — relevant für Stoffwechsel, Ernährung und manche Tumorsignale.

### **Begriffsableitung:**

Insulin=Hormon(Zuckerregulation)

**Ausführlich erklärt:** S. [189](#)

## **Fasten**

**Kurz erklärt:** Fasten bezeichnet bewussten Verzicht auf Nahrung über einen Zeitraum — körperlich wirksam und in der Forschung zu Stoffwechsel und Autophagie untersucht.

### **Begriffsableitung:**

Fasten=Verzicht(Nahrung)

**Ausführlich erklärt:** S. [48](#)

## **Biomarker**

**Kurz erklärt:** Ein Biomarker ist ein messbares Merkmal (z.B. im Blut oder Gewebe), das auf Krankheit, Verlauf oder Therapieansprechen hinweisen kann.

### **Begriffsableitung:**

Biomarker=Merkmal(Krankheitshinweis)

**Ausführlich erklärt:** S. [51](#)

## **EMT**

**Kurz erklärt:** EMT (epithelial-mesenchymale Transition) beschreibt die Umwandlung von Zellen in beweglichere Formen — relevant für Invasion und Metastasen.

### **Begriffsableitung:**

EMT=Umstellung(Zellbeweglichkeit)

**Ausführlich erklärt:** S. [168](#)

## **Histologie**

**Kurz erklärt:** Histologie ist die mikroskopische Untersuchung von Gewebe — zentral für die genaue Tumordiagnose.

### **Begriffsableitung:**

Histologie=Untersuchung(Gewebeprobe)

**Ausführlich erklärt:** S. [3](#)

## **Screening**

**Kurz erklärt:** Screening ist die systematische Vorsorgeuntersuchung bei Menschen ohne Beschwerden — z. B. Mammographie oder Darmspiegelung — um Krebs oder Vorstufen früh zu finden.

### **Begriffsableitung:**

Screening=Vorsorge(Suchtest)

**Ausführlich erklärt:** S. [14](#)

## **Biopsie**

**Kurz erklärt:** Eine Biopsie ist die gezielte Entnahme von Gewebe zur mikroskopischen Untersuchung — oft entscheidend für die genaue Krebsdiagnose.

### **Begriffsableitung:**

Biopsie=Entnahme(Gewebeprobe)

**Ausführlich erklärt:** S. [11](#)

## **Tumorgrading**

**Kurz erklärt:** Tumorgrading beschreibt, wie stark Tumorzellen von normalen Zellen abweichen — ein Baustein der Prognose neben Stadium und Tumortyp.

### **Begriffsableitung:**

Tumorgrading=Einstufung(Entartungsgrad)

**Ausführlich erklärt:** S. [11](#)

## **Tumorstaging**

**Kurz erklärt:** Tumorstaging ordnet Größe,Lymphknotenbefall und Fernmetastasen ein — häufig nach dem TNM-System und Stadien I–IV.

### **Begriffsableitung:**

Tumorstaging=Einstufung(Ausbreitung)

**Ausführlich erklärt:** S. [11](#)

## **Differenzialdiagnose**

**Kurz erklärt:** Differenzialdiagnose ist die Abgrenzung ähnlicher Krankheitsbilder — nicht jeder Knoten oder Befund ist Krebs.

### **Begriffsableitung:**

Differenzialdiagnose=Abgrenzung(Krankheitsaehnlichkeit)

**Ausführlich erklärt:** S. [17](#)

## **Mammographie**

**Kurz erklärt:** Mammographie ist eine Röntgenuntersuchung der Brust — zentral in der Brustkrebs-Früherkennung und bei Abklärung auffälliger Befunde.

### **Begriffsableitung:**

Mammographie=Roentgen(Brustdruese)

**Ausführlich erklärt:** S. [14](#)

## **Dermatoskopie**

**Kurz erklärt:** Dermatoskopie ist die vergrößerte Betrachtung von Hautveränderungen mit Auflichtmikroskop — wichtig bei Muttermalen und Hautkrebs-Abklärung.

### **Begriffsableitung:**

Dermatoskopie=Untersuchung(Hautveraenderung)

**Ausführlich erklärt:** S. [14](#)

## **Remission**

**Kurz erklärt:** Remission bedeutet Rückgang oder vorübergehendes Verschwinden von Krankheitszeichen — vollständig oder teilweise.

### **Begriffsableitung:**

Remission=Rueckgang(Krankheitszeichen)

**Ausführlich erklärt:** S. [28](#)

## **Karzinogen**

**Kurz erklärt:** Ein Karzinogen ist ein Stoff oder Einfluss, der Krebsentstehung fördern kann — nicht bei jedem Kontakt automatisch.

### **Begriffsableitung:**

Karzinogen=Stoff(Krebsausloesung)

**Ausführlich erklärt:** S. [127](#)

## **Glukose**

**Kurz erklärt:** Glukose (Traubenzucker) ist die zentrale Energiequelle für viele Körperzellen — und ein Schwerpunkt tumorbiologischer Forschung.

### **Begriffsableitung:**

Glukose=Zucker(Energiequelle)

**Ausführlich erklärt:** S. [187](#)

## **ATP**

**Kurz erklärt:** ATP ist der universelle Energieträger der Zelle — produziert vor allem durch Zellatmung in den Mitochondrien.

**Begriffsableitung:**

ATP=Stoff(Energietraeger)

**Ausführlich erklärt:** S. [151](#)

## **Enzym**

**Kurz erklärt:** Enzyme sind Proteine, die biochemische Reaktionen im Körper ermöglichen oder beschleunigen.

**Begriffsableitung:**

Enzym=Protein(Stoffumwandlung)

**Ausführlich erklärt:** S. [182](#)

## **Gen**

**Kurz erklärt:** Ein Gen ist ein Abschnitt der DNA mit Information für bestimmte Eigenschaften oder Prozesse.

**Begriffsableitung:**

Gen=Abschnitt(DNA)

**Ausführlich erklärt:** S. [148](#)

## **Mutation**

**Kurz erklärt:** Mutation ist eine Veränderung der Erbinformation — manche begünstigen Fehlregulation, andere sind harmlos.

**Begriffsableitung:**

Mutation=Veränderung(Erbinformation)

**Ausführlich erklärt:** S. [148](#)

## **Operation**

**Kurz erklärt:** Operation (Resektion) entfernt Tumorgewebe chirurgisch — oft erste oder zentrale Säule kurativer Therapie.

### **Begriffsableitung:**

Operation=Eingriff(Gewebeentfernung)

**Ausführlich erklärt:** S. [25](#)

## **Resektion**

**Kurz erklärt:** Resektion bezeichnet das operative Entfernen von Gewebe — beim Krebs möglichst mit Sicherheitsabstand.

### **Begriffsableitung:**

Resektion=Entfernung(Tumor)

**Ausführlich erklärt:** S. [25](#)

## **Diagnose**

**Kurz erklärt:** Diagnose ist die ärztliche Feststellung einer Erkrankung — beim Krebs oft mehrstufig durch Bildgebung, Labor und Gewebeprobe.

### **Begriffsableitung:**

Diagnose=Feststellung(Krankheit)

**Ausführlich erklärt:** S. [3](#)

## **Krebs**

**Kurz erklärt:** Krebs ist ein Sammelbegriff für Erkrankungen mit fehlreguliertem Zellwachstum — biologisch sehr heterogen.

### **Begriffsableitung:**

Krebs=Prozess(Entgrenzung)

**Ausführlich erklärt:** S. [3](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 0–6

## **Regeneration**

**Kurz erklärt:** Regeneration bezeichnet die Wiederherstellung von Gewebe und biologischer Stabilität nach Belastung oder Schaden.

### **Begriffsableitung:**

Regeneration=Wiederherstellung(Belastung)

**Ausführlich erklärt:** S. [58](#)

## **Stress**

**Kurz erklärt:** Stress ist ein Zustand erhöhter körperlicher und psychischer Alarmbereitschaft — chronisch kann er Regulationsräume belasten.

### **Begriffsableitung:**

Stress=Zustand(Ueberlastung)

**Ausführlich erklärt:** S. [62](#)

## **Schlaf**

**Kurz erklärt:** Schlaf ist eine regenerative Phase mit zentraler Bedeutung für Immunfunktion, Hormone und Stoffwechsel.

### **Begriffsableitung:**

Schlaf=Phase(Erholung)

**Ausführlich erklärt:** S. [58](#)

## **Malignom**

**Kurz erklärt:** Ein Malignom ist ein bösartiger Tumor mit Potenzial zur Zerstörung und Ausbreitung — im Gegensatz zu vielen gutartigen (benigen) Tumoren.

### **Begriffsableitung:**

Malignom=Tumor(Boesartigkeit)

**Ausführlich erklärt:** S. [74](#)

## **Primärtumor**

**Kurz erklärt:** Der Primärtumor ist der ursprüngliche Tumorherd, von dem Metastasen ausgehen können.

### **Begriffsableitung:**

Primrtumor = Tumor(Ursprung)

**Ausführlich erklärt:** S. [168](#)

## **FDG-PET**

**Kurz erklärt:** FDG-PET ist eine PET-Untersuchung mit fluordesoxyglucose — macht stoffwechselaktive Bereiche sichtbar.

### **Begriffsableitung:**

FDG-PET=Untersuchung(Zuckerstoffwechsel)

**Ausführlich erklärt:** S. [3](#)

## **Invasion**

**Kurz erklärt:** Invasion beschreibt das Eindringen von Tumorzellen in umliegendes Gewebe.

### **Begriffsableitung:**

Invasion=Eindringen(Tumor)

**Ausführlich erklärt:** S. [168](#)

## **Nebenwirkung**

**Kurz erklärt:** Nebenwirkungen sind unerwünschte Folgen einer Therapie — bei Chemo z. B. Übelkeit, Haarverlust, Müdigkeit.

### **Begriffsableitung:**

Nebenwirkung=Folge(Therapie)

**Ausführlich erklärt:** S. [28](#)

## **Tumorboard**

**Kurz erklärt:** Ein Tumorboard ist ein fachübergreifendes Gremium zur gemeinsamen Therapieplanung für einzelne Patientenfälle.

**Begriffsableitung:**

Tumorboard=Gremium(Therapieplanung)

**Ausführlich erklärt:** S. [51](#)

## **Vitamin D**

**Kurz erklärt:** Vitamin D ist ein fettlöslicher Mikronährstoff — relevant für Knochen, Immunsystem und Gegenstand onkologischer Forschung.

**Begriffsableitung:**

VitaminD=Stoff(Mikronaehrstoff)

**Ausführlich erklärt:** S. [46](#)

## **Phytochemikalie**

**Kurz erklärt:** Phytochemikalien sind pflanzliche Wirkstoffe — Gegenstand der Forschung, nicht pauschal Krebsheilung.

**Begriffsableitung:**

Phytochemikalie=Stoff(Pflanzenwirkstoff)

**Ausführlich erklärt:** S. [43](#)

## **Metabolisches Syndrom**

**Kurz erklärt:** Das metabolische Syndrom bezeichnet eine Kombination aus Übergewicht, Bluthochdruck, Zuckerstoffwechselstörung und Fettstoffwechselstörung.

**Begriffsableitung:**

MetabolischesSyndrom=Syndrom(Stoffwechsel)

**Ausführlich erklärt:** S. [187](#)

## **Systemerkrankung**

**Kurz erklärt:** Systemerkrankung bedeutet: Die Erkrankung betrifft nicht nur ein Organ, sondern ganze Regulationsnetzwerke im Körper.

### **Begriffsableitung:**

Systemerkrankung=Krankheit(Gesamtsystem)

**Ausführlich erklärt:** S. [209](#)

## **Integration**

**Kurz erklärt:** Integration meint das Zusammenführen einzelner biologischer Perspektiven zu einem Gesamtbild — Leitmotiv des Abschlusskapitels.

### **Begriffsableitung:**

Integration=Verbindung(Zusammenhang)

**Ausführlich erklärt:** S. [209](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 6

## **Landkarte**

**Kurz erklärt:** Im MONA-Bild ist das Buch eine „metabolische Landkarte“ — Orientierungshilfe, keine abschließende Wahrheit.

### **Begriffsableitung:**

Landkarte=Orientierung(Zusammenhang)

**Ausführlich erklärt:** S. [209](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 6

## **Maschinenraum**

**Kurz erklärt:** Metapher für den Organismus als dynamisches Netz aus Energie, Reparatur, Signalen und Regulation.

### **Begriffsableitung:**

Maschinenraum=Metapher(Organismus)

**Ausführlich erklärt:** S. [118](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 0–6

## **Organismus**

**Kurz erklärt:** Der Organismus ist das Gesamtsystem aller Zellen, Gewebe und Organe eines Lebewesens.

**Begriffsableitung:**

Organismus=System(Leben)

**Ausführlich erklärt:** S. [118](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 0; Kapitel 6

## **Zelle**

**Kurz erklärt:** Die Zelle ist die kleinste selbstständig lebensfähige Einheit des Körpers.

**Begriffsableitung:**

Zelle=Einheit(Leben)

**Ausführlich erklärt:** S. [118](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 0; Kapitel 2

## **Gewebe**

**Kurz erklärt:** Gewebe ist ein Verbund ähnlicher Zellen mit gemeinsamer Funktion — z. B. Muskel- oder Drüsengewebe.

**Begriffsableitung:**

Gewebe=Verband(Zelle)

**Ausführlich erklärt:** S. [118](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 0; Kapitel 4

## **Organ**

**Kurz erklärt:** Ein Organ besteht aus verschiedenen Geweben und erfüllt eine übergeordnete Körperfunktion.

**Begriffsableitung:**

Organ=System(Gewebe)

**Ausführlich erklärt:** Kapitel 0 — Propädeutik

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 0; Kapitel 4

**DNA**

**Kurz erklärt:** DNA (Desoxyribonukleinsäure) speichert die genetische Information der Zelle.

**Begriffsableitung:**

DNA=Speicher(Erbinformation)

**Ausführlich erklärt:** Kapitel 0; Kapitel 2.1

**Ionisierende Strahlung**

**Kurz erklärt:** Ionisierende Strahlung kann Elektronen aus Atomen schlagen und DNA schädigen — z. B. Röntgen, Gamma, radioaktive Strahlung.

**Begriffsableitung:**

IonisierendeStrahlung=Strahlung(Ionisation)

**Ausführlich erklärt:** S. [135](#)

**Cortisol**

**Kurz erklärt:** Cortisol ist ein Stresshormon der Nebennieren — beeinflusst Stoffwechsel, Entzündung und Immunantwort.

**Begriffsableitung:**

Cortisol=Hormon(Stressreaktion)

**Ausführlich erklärt:** S. [139](#)

**Methylierung**

**Kurz erklärt:** Methylierung ist ein epigenetischer Prozess, der Gene aktivieren oder stilllegen kann.

**Begriffsableitung:**

Methylierung=Prozess(Gensperrung)

**Ausführlich erklärt:** S. [141](#)

**Transkriptionsfaktor**

**Kurz erklärt:** Transkriptionsfaktoren sind Proteine, die die Aktivität von Genen steuern — Schalter im Zellkern.

**Begriffsableitung:**

Transkriptionsfaktor=Schalter(Genaktivitaet)

**Ausführlich erklärt:** S. [182](#)

**Knochenmark**

**Kurz erklärt:** Knochenmark ist das blutbildende Gewebe in den Knochen — bei Leukämien und manchen Therapien zentral.

**Begriffsableitung:**

Knochenmark=Gewebe(Blutbildung)

**Ausführlich erklärt:** S. [102](#)

**Transplantation**

**Kurz erklärt:** Transplantation überträgt Gewebe oder Organe — in der Onkologie v. a. Stammzellen des Blutes.

**Begriffsableitung:**

Transplantation=Uebertragung(Gewebe)

**Ausführlich erklärt:** S. [37](#)

**Ernährungstherapie**

**Kurz erklärt:** Ernährungstherapie umfasst gezielte Ernährungsansätze begleitend zur Krebsbehandlung — immer mit dem behandelnden Team abstimmen.

**Begriffsableitung:**

Ernährungstherapie = Ansatz(Ernaehrung)

**Ausführlich erklärt:** S. [40](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 3.6; Kapitel 5

### **Sekundärer Pflanzenstoff**

**Kurz erklärt:** Sekundäre Pflanzenstoffe sind pflanzliche Substanzen für Abwehr und Signalgebung — nicht primär für Energiespeicherung.

**Begriffsableitung:**

Sekundrer Pflanzenstoff = Stoff(Pflanzenschutz)

**Ausführlich erklärt:** S. [43](#)

### **Mikronährstoff**

**Kurz erklärt:** Mikronährstoffe (Vitamine,Mineralstoffe,Spurenelemente) werden in kleinen Mengen benötigt — essentiell für Stoffwechsel und Zellschutz.

**Begriffsableitung:**

Mikronhrstoff = Stoff(Kleinstmenge)

**Ausführlich erklärt:** S. [46](#)

### **Präzisionsonkologie**

**Kurz erklärt:** Präzisionsonkologie zielt auf Therapie nach molekularem Tumorprofil und individueller Situation.

**Begriffsableitung:**

Przisionsonkologie = Lehre(Praezision)

**Ausführlich erklärt:** S. [51](#)

### **Brustkrebs**

**Kurz erklärt:** Brustkrebs ist eine der häufigsten Krebsarten bei Frauen — biologisch heterogen (Rezeptorstatus,Wachstum).

**Begriffsableitung:**

Brustkrebs=Krebsart (Brustdruese)

**Ausführlich erklärt:** S. [74](#)

## Darmkrebs

**Kurz erklärt:** Darmkrebs (kolorektales Karzinom) entsteht meist in Dick- oder Enddarm — Vorsorge (Koloskopie) kann frühe Stadien finden.

**Begriffsableitung:**

Darmkrebs=Krebsart (Darm)

**Ausführlich erklärt:** S. [79](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 4.2

## Lungenkrebs

**Kurz erklärt:** Lungenkrebs ist eng mit Rauchen und Umweltbelastung verknüpft — verschiedene histologische Subtypen.

**Begriffsableitung:**

Lungenkrebs=Krebsart (Lunge)

**Ausführlich erklärt:** S. [85](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 4.3

## Melanom

**Kurz erklärt:** Melanom ist ein bösartiger Hautkrebs aus Pigmentzellen — frühe Erkennung ist entscheidend.

**Begriffsableitung:**

Melanom=Krebsart (Haut)

**Ausführlich erklärt:** S. [97](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 4.7

## Prostatakrebs

**Kurz erklärt:** Prostatakrebs ist eine häufige Krebsart des Mannes — oft langsam wachsend, Therapie individuell.

**Begriffsableitung:**

Prostatakrebs=Krebsart(Prostata)

**Ausführlich erklärt:** S. [90](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 4.4

**Leberkrebs**

**Kurz erklärt:** Leberkrebs (v. a. hepatozelluläres Karzinom) tritt oft bei vorgeschädigter Leber auf.

**Begriffsableitung:**

Leberkrebs=Krebsart(Leber)

**Ausführlich erklärt:** S. [93](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 4.5

**Psyche**

**Kurz erklärt:** Psyche bezeichnet das seelische Erleben — Krebs betrifft körperlich und psychisch; Unterstützung ist medizinisch sinnvoll.

**Begriffsableitung:**

Psyche=Bereich(Seelisches)

**Ausführlich erklärt:** S. [62](#)

**Bewegung**

**Kurz erklärt:** Körperliche Aktivität beeinflusst Stoffwechsel, Immunsystem und Lebensqualität — in onkologischen Programmen oft empfohlen.

**Begriffsableitung:**

Bewegung=Aktivitaet(Koerper)

**Ausführlich erklärt:** S. [56](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 5.7

## Umweltgift

**Kurz erklärt:** Umweltgifte sind Schadstoffe aus Luft, Wasser, Nahrung oder Produkten — mögliche Belastung für Regulationsräume.

### Begriffsableitung:

Umweltgift=Stoff (Umweltbelastung)

**Ausführlich erklärt:** S. [127](#)

## MONA

**Kurz erklärt:** MONA steht in diesem Buch für *Metabolic Oncology & Nutritional Approaches* — metabolische Onkologie und ernährungsbezogene Perspektiven.

### Begriffsableitung:

MONA=Akronym (Forschungsrahmen)

**Ausführlich erklärt:** S. [209](#)

**Weitere Vorkommen:** Kapitel 0; Kapitel 6.8

## Personenindex

Brown, James M., [165](#), [167](#), [169](#)

DeVita, Vincent T., [8](#), [9](#), [11](#), [12](#), [15–17](#), [19](#), [21](#), [28](#)

Ferrara, Napoleone, [163](#), [176](#), [177](#)

Fine, Eugene J., [41](#), [49](#)

Hanahan, Douglas, [4](#), [6](#), [31](#), [126](#), [127](#), [131](#), [135](#), [156](#), [162](#), [171](#), [176](#), [178](#), [183](#), [195](#), [205](#), [209](#)

Jain, Rakesh K., [176](#)

Levine, Arnold J., [179](#)

Longo, Valter, [42](#), [49](#), [181](#)

Semenza, Douglas, [160](#), [163](#), [173](#), [175](#)

Seyfried, Thomas, [4](#), [6](#), [41](#), [49](#), [124](#), [126](#), [150](#), [156](#), [162](#)

Wallace, Douglas C., [27](#), [150](#), [152](#), [197](#)

Warburg, Otto, [4](#), [41](#), [124](#), [154](#), [158](#), [183](#), [187](#), [197](#)

**Wissenschaft als semantische Landschaft** Die genannten Personen stehen für unterschiedliche Forschungstraditionen — von Genetik und Tumorbiologie über Immunologie und Mitochondrienforschung bis zu Ernährungsmedizin und Wissenschaftstheorie. Im Zusammenspiel entsteht das Bild, das moderne Krebsforschung heute prägt: Krebs als Störung biologischer Regulations-, Energie- und Kommunikationssysteme innerhalb des gesamten Organismus.

# Sachindex

- Angiogenese, 175  
Antikörpertherapie, 34  
Apoptose, 126  
Autophagie, 178  
  
Bestrahlung, 138  
Blutgefäße, 163  
Broccoli, 42  
  
CAR-T-Zellen, 212  
Chemotherapie, 174  
Chronische Entzündung, 126  
  
Diabetes, 8  
DNA, 137  
  
Energieproduktion, 121  
Entgiftung, 132  
Entzündung, 121  
Enzyme, 138  
Epigenetik, 141  
Ernährung, 121  
Erschöpfung, 140  
  
Fasten, 181  
Freie Radikale, 137  
  
Genetik, 127  
Glukose, 139  
Glykolyse, 158  
  
Hyperthermie, 165  
Hypoxie, 122  
  
Immunsystem, 135  
Insulin, 139  
Insulinresistenz, 210  
  
Ketogene Ernährung, 156  
Ketose, 40  
Krebs, 119  
  
Krebsstammzellen, 38  
  
Lebensstil, 8  
Leukämie, 137  
Lymphsystem, 18  
  
Metabolische Therapie, 198  
Metastasen, 5  
Mikronährstoffe, 45  
Mitochondriale Dysfunktion, 137  
  
Naturstoffe, 42  
  
Operation, 13  
Oxidativer Stress, 119  
  
p53, 150  
Propädeutik, 121  
Prävention, 126  
  
Regeneration, 133  
Reparaturmechanismen, 119  
Resveratrol, 42  
  
Schlaf, 139  
Sekundäre Pflanzenstoffe, 131  
Selen, 46  
Stammzelltherapie, 38  
Stoffwechsel, 118  
  
Telomere, 181  
Tumor, 119  
  
Umweltgifte, 130  
  
Vitamin D, 47  
Vitamine, 46  
  
Warburg-Effekt, 124  
Übersäuerung, 173

## SACHINDEX

**Semantische Orientierung** Die Begriffe dieses Indexes bilden keine isolierten Einzelthemen. Viele stehen in enger biologischer Wechselwirkung miteinander. Stoffwechsel beeinflusst Immunreaktionen; Entzündungen verändern Zellkommunikation; Mitochondrien regulieren Energieproduktion und Stressantworten. Ergänzend bietet das *Medizinische Vokabelheft* ausführliche Erläuterungen zentraler Fachbegriffe mit Seitenverweisen.

## MONA-Bildatlas

Zentraler Bildatlas der MONA-Lehrtafeln. Langform-Erläuterungen stehen in den jeweiligen Kapiteln; hier steht die visuelle Übersicht im Vordergrund.

# DIE METABOLISCHE GESAMTKARTE

DAS ZUSAMMENSPIEL ALLER SYSTEME FÜR GESUNDHEIT, LEISTUNG UND LANGLEBIGKEIT

• ENERGIE • INFORMATION • STOFFWECHSEL • KOMMUNIKATION • REPARATUR • SCHUTZ • ANPASSUNG • EVOLUTION



Die metabolische Gesamtkarte

# TUMOR-MIKROMILIEU

Ein komplexes Ökosystem, das Tumorprogression und Therapieresistenz fördert

Tumorzellen existieren nicht isoliert, sondern in einem dynamischen Mikromilieu aus verschiedenen Zelltypen, extrazellulärer Matrix, löslichen Faktoren und physikalischen Bedingungen, die das Tumorstadium, die Invasion und die Immunflucht maßgeblich beeinflussen.

## ZELLULÄRE KOMPONENTEN

- T-ZELLEN**
  - Erkennt durch Antigene
  - Oft erschöpft oder funktionell gehemmt
- TAMs** (Tumor-assoziierte Makrophagen)
  - Fördern Angiogenese
  - Unterstützen Invasion
  - Produzieren IL-10, TGF- $\beta$
- MDSCs** (Myeloische Suppressorzellen)
  - Unterdrücken T-Zell-Aktivierung
  - Fördern Immuntoleranz
- Tregs** (Regulatorische T-Zellen)
  - Sorgen für Immuntoleranz
  - Fördern Tumorprogression
- NK-ZELLEN**
  - Natürliche Tumorabwehr
  - Oft funktionell inhibiert
- ENDOTHELZELLEN**
  - Bilden neue Blutgefäße
  - Ermöglichen Nährstoffversorgung & Metastase

## PHYSIKALISCHE FAKTOREN

- SAURER pH (6,2-6,8)**
  - Fördert Invasion, Metastase und Immunsuppression
- HOHE INTERSTITIELLE DRUCKBELASTUNG**
  - Komprimiert Gefäße, erschwert Therapeutika-Penetration
- STARRE MATRIX**
  - Erhöht mechanische Spannung, fördert Proliferation und EMT

## LÖSLICHE FAKTOREN

- TGF- $\beta$** 
  - Fördert Immunsuppression, EMT und Metastase
- IL-10**
  - Unterdrückt Entzündung und T-Zell-Aktivität
- IL-6**
  - Fördert Wachstum, Überleben und Entzündung
- VEGF**
  - Stimuliert Angiogenese und Gefäßpermeabilität
- CCL2 (MCP-1)**
  - Rekrutiert Monozyten und fördert TAM-Akkumulation
- PGE2**
  - Fördert Immunsuppression, Angiogenese und Schmerz

## EXTRAZELLULÄRE MATRIX (ECM)

Bietet Struktur, speichert Wachstumsfaktoren, beeinflusst Zellverhalten

## HYPOXIE

Niedriger Sauerstoff stabilisiert HIF-1 $\alpha$ , fördert Angiogenese, Immunsuppression und Therapieresistenz

## ANGIOGENESE

VEGF, FGF, Angiopoietine fördern Gefäßneubildung und erhöhen Metastasepotenzial

## KREBSASSOZIIERTE FIBROBLASTEN (CAFs)

Fördern Wachstum, Invasion und Matrix-Remodellierung

## ZYTOKINE & CHEMOKINE

z. B. TGF- $\beta$ , IL-10, IL-6, CCL2  
Modulieren Zellverhalten, fördern Entzündung und Immuninvasion

## ZUSAMMENSPIEL DES MIKROMILIEUS



## FUNKTIONELLE AUSWIRKUNGEN

- Förderung von Wachstum und Überleben
- Unterdrückung der Immunabwehr
- Steigerung von Invasion und Metastasierung
- Entwicklung von Therapie-resistenz
- Unterstützung der Stammzellnische

## KOMPONENTEN IM ÜBERBLICK

| TUMORZELLE                                | CAFs                                           | TAMs (M2)                                      | MDSCs                                       | Tregs                                          | T-ZELLEN (erschöpft)                                    | NK-ZELLEN (inhibiert)                                | ENDOTHELZELLEN                                      | ECM                                                                  |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Proliferation<br>Resistenz<br>Antigenität | Matrix-Remod.<br>Wachstumsfaktoren<br>Invasion | Phagozytose<br>Zytokine (IL-10)<br>Angiogenese | Arginase, iNOS<br>T-Zell-Hemmung<br>ROS, NO | IL-10, TGF- $\beta$<br>CTLA-4<br>Immuntoleranz | PD-1, TIM-3<br>Geringe Zytotoxizität<br>Zellerschöpfung | NG2A, TIGIT<br>Reduzierte Aktivität<br>Zytokinmangel | Gefäßneubildung<br>Permeabilität<br>Metastaserouten | Kollagen, Fibronectin<br>Laminin, Proteoglykane<br>Struktur & Signal |

„Um den Krebs zu besiegen, müssen wir nicht nur die Tumorzelle treffen, sondern das gesamte Mikromilieu, das sie schützt und nährt.“

## Das Tumor-Mikromilieu

# DER WARBURG-EFFEKT

## KREBSZELLEN LEBEN VON ZUCKER – AUCH OHNE SAUERSTOFF

Krebszellen bevorzugen die Glykolyse zur Energiegewinnung, selbst wenn genügend Sauerstoff vorhanden ist. Diese metabolische Umprogrammierung fördert Wachstum, Überleben und Resistenz.

### KERNMERKMALE

- ↑ Erhöhte Glukoseaufnahme
- ⚡ Hohe Glykolyseaktivität
- 🔴 Laktatproduktion und -sekretion
- pH Ansäuerung des Tumormikromilieus
- 🛡️ ATP-Gewinnung unabhängig von O<sub>2</sub>
- 🧬 Förderung von Wachstum und Resistenz

### WICHTIGE MOLEKÜLE

- HIF-1α Fördert die Expression glykolytischer Gene
- MYC Steigert die Glykolyse und Glukoseaufnahme
- PI3K/AKT/mTOR Aktiviert Stoffwechselprogramme
- LDH-A Wandelt Pyruvat in Laktat um
- MCT4 Exportiert Laktat aus der Zelle
- HK2 Hexokinase 2 – erster Schritt der Glykolyse

### WARUM GLYKOLYSE?

- ⚡ Schnelle ATP-Produktion (wenn auch weniger effizient)
- 🔧 Bereitstellung von Zwischenprodukten für Biosynthesen
- 🛡️ Reduktion von ROS durch veränderten Stoffwechsel
- ⚡ Anpassung an hypoxische Mikroumgebungen
- 🛡️ Förderung von Invasion und Metastasierung

### FOLGEN FÜR DAS TUMORMIKROMILIEU

- pH Säuerung (pH 4) fördert Invasion
- 🛡️ Unterdrückung der Immunabwehr
- 🔴 Förderung von Angiogenese
- 🛡️ Unterstützung von Metastasenbildung
- 🛡️ Resistenz gegen Therapien

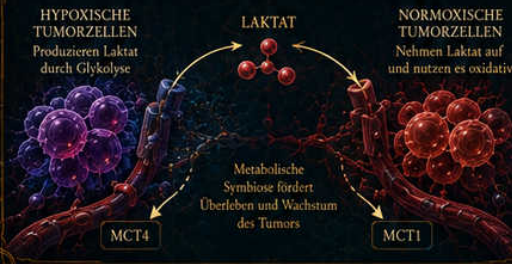
### STOFFWECHSEL-WEG: NORMALZELLE vs. KREBSZELLE



### THERAPIEANSÄTZE

- Glykolyse-Hemmer z. B. 2-DG, LDH-A-Inhibitoren
- Glukoseaufnahme blockieren z. B. GLUT-Inhibitoren
- Laktat-Transport hemmen z. B. MCT1/4-Inhibitoren
- Säurepufferung nutzen z. B. Bikarbonat-Therapie
- Kombination mit Chemo-, Radio- und Immuntherapie

### LAKTAT-KREISLAUF IM TUMORGEWEBE



### BIOMARKER DES WARBURG-EFFEKTES

- 🔴 Hohe 18F-FDG-PET-Aufnahme
- 🔴 Erhöhtes Laktat im Gewebe
- pH Niedriger pH-Wert
- 🔴 Hohe GLUT1/3-Expression
- 🔴 Erhöhte LDH-A-Aktivität
- 🔴 Geringe mitochondriale Atmungsaktivität

Die Umprogrammierung des Energiestoffwechsels ist ein zentrales Kennzeichen des Krebses. Der Warburg-Effekt ist nicht nur ein Stoffwechselphänomen, sondern ein strategischer Vorteil für Tumorzellen.

## Der Warburg-Effekt

# DIE MITOCHONDRIEN – ENERGIEZENTRALE IM KREBSTOFFWECHSEL

Mitochondrien bestimmen, ob Krebszellen effizient wachsen, überleben und metastasieren können, oder ob sie in die Abhängigkeit und Behandelbarkeit gezwungen werden.

## FUNKTIONEN DER MITOCHONDRIEN

- ATP** ATP-Produktion über oxidative Phosphorylierung
- Stoffwechsel-Drehkreise für Kohlenhydrate, Fette und Aminosäuren
- Regulation von Zellüberleben und Apoptose
- Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) als Signal und Waffe
- Wärmeproduktion und Calcium-Homöostase

## MITOCHONDRIEN IN KREBSZELLEN

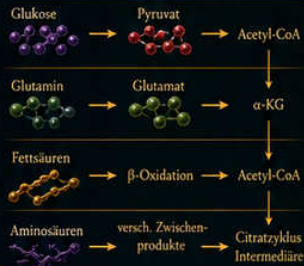
- Veränderte Struktur und Zahl
- Verschiebener Stoffwechsel
- Erhöhter Bedarf, aber ineffiziente Nutzung
- Abhängigkeit von onkogenen Signalen (z. B. mTOR, MYC)
- Anpassung an Sauerstoffmangel und Nährstoffverfügbarkeit



## MITOCHONDRIALE DYSFUNKTION ALS VORTEIL FÜR TUMORE

- Verringerte oxidative Phosphorylierung → mehr Glykolyse (Warburg-Effekt)
- Weniger ROS-Schäden durch veränderte Elektronentransportkette
- Vermeidung von Apoptose durch Blockade pro-apoptotischer Signale
- Erhöhte metabolische Plastizität und Anpassungsfähigkeit
- Unterstützung von Invasion, Metastasierung und Therapieresistenz

## MITOCHONDRIEN STROMAUFWÄRTS: WICHTIGE ZUFLUSSWEGE

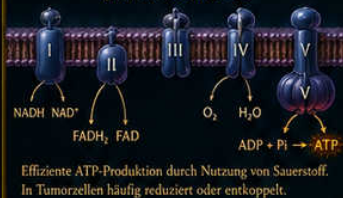


Eine Krebszelle enthält hunderte bis tausende Mitochondrien, die dynamisch ihre Form, Funktion und Anzahl verändern.

## DER CITRATZYKLUS (TCA-ZYKLUS)



## OXIDATIVE PHOSPHORYLIERUNG (ATEMUNGSKETTE)

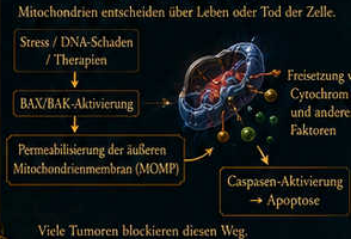


Effiziente ATP-Produktion durch Nutzung von Sauerstoff. In Tumorzellen häufig reduziert oder entkoppelt.

## DYNAMIK DER MITOCHONDRIEN



## ROLLE IN DER APOPTOSE



## THERAPEUTISCHE ANGRIFFSPUNKTE AN DEN MITOCHONDRIEN

### ATEMUNGSKETTE HEMMEN

- Komplex I Inhibitoren (z. B. Metformin, Phenformin)
- Komplex III Inhibitoren (z. B. Atovaquon)
- Komplex IV Inhibitoren (z. B. IACS-010759)

### MITOCHONDRIALE DYNAMIK STÖREN

- DRP1-Inhibitoren (z. B. Mdivi-1)
- Fördern Fusion, um Stressresistenz zu erhöhen

### STOFFWECHSELZUFUHR BLOCKIEREN

- Glutaminase-Hemmer (z. B. CB-839)
- CPT1-Inhibitoren (Fettsäuretransport)
- LDH-Inhibitoren

### MITOCHONDRIALE MEMBRAN ZIELEN

- BCL-2 / MCL-1-Inhibitoren (z. B. Venetoclax)
- BH3-Mimetika aktivieren Apoptose

### mtDNA UND BIOGENESE ZIELEN

- Hemmung der mtDNA-Replikation (z. B. Ethidium)
- PGC-1α / NRF1 / TFAM-Signalwege blockieren

## BIOMARKER FÜR MITOCHONDRIALE AKTIVITÄT IM TUMOR

- mtDNA-Kopienzahl
- Citratsynthase-Aktivität
- OCR (Sauerstoffverbrauchsrate)
- ATP/ADP-Verhältnis
- Expression von TFAM, PGC-1α, COX IV

## NACHWEIS & ÜBERWACHUNG

- Seahorse-Analyse (OCR/ECAR)
- PET mit <sup>18</sup>F-FDG oder <sup>18</sup>F-FAZA
- Konfokale/Elektronenmikroskopie
- Metabolomics & Flux-Analysen

## ZIEL: MITOCHONDRIENEN VORTEIL KIPPEN

- Energiekrise in Tumorzellen auslösen
- Abhängigkeit von externen Nährstoffen durchbrechen
- Apoptose wieder ermöglichen
- Therapieresistenz überwinden

DAS VERSTÄNDNIS UND DIE ZIELGERICHTETE BEEINFLUSSUNG DER MITOCHONDRIEN IST EIN SCHLÜSSEL ZUR KONTROLLE DES KREBSTOFFWECHSELS.

Die Mitochondrien

# SAUERSTOFFGRADIENTEN UND HYPOXIE

Die verborgene Topografie des Überlebens

Sauerstoff ist Leben – aber im Tumor wird er zum Mangelgut. Mit zunehmender Entfernung von Blutgefäßen fällt der  $pO_2$  ab. Zellen passen sich an, verändern ihren Stoffwechsel und aktivieren Überlebensprogramme, die Therapien widerstehen.

SAUERSTOFFVERFÜGBARKEIT ( $pO_2$ )

HOCH

MODERAT

HYPOKISCH

## GUT OXYGENIERTE ZONE

(> 40 mmHg)

- Normale Zellatmung
- Oxidative Phosphorylierung
- Effiziente Energieproduktion
- Geringe HIF-1 $\alpha$  Aktivität

## INTERMITTIERENDE HYPOXIE

(10 – 40 mmHg)

- Schwankende Durchblutung
- Reaktive Sauerstoffspezies (ROS)
- DNA-Schäden und Instabilität
- Selektion aggressiver Klone

## CHRONISCHE HYPOXIE

(< 10 mmHg)

- Dauerhafte Sauerstoffarmut
- Starke HIF-1 $\alpha$  Aktivierung
- Metabolische Umprogrammierung
- Therapieresistenz
- Invasive und metastatische Selektion

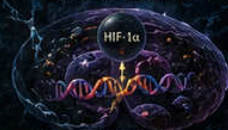
## DER SAUERSTOFFABFALL

Sauerstoff diffundiert nur ~100–200  $\mu$ m. Darüber hinaus entsteht ein steiler Gradient, der drei funktionelle Zonen bildet.



## HIF-1 $\alpha$ – DER DIRIGENT DER ANPASSUNG

Unter Hypoxie stabilisiert sich HIF-1 $\alpha$ , wandert in den Zellkern und aktiviert ein genetisches Überlebensprogramm.



## ZIELGENE (BEISPIELE)

- VEGF (Angiogenese) ↑
- GLUT1 (Glykolyse) ↑
- CA9 (Azidose-Regulation) ↑
- EPO (Erythropoese) ↑
- PDK1 (Pyruvat-Dehydrogenase Hemmung) ↑

## METABOLISCHE UMPROGRAMMIERUNG

Zellen wechseln von effizient zu überlebensorientiert.

### NORMOXIE



### HYPOXIE



Folgen: Laktatazidose, pH-Abfall, Immunsuppression, Matrixabbau

## AZIDOSE – DIE SAURE UMWELT

Laktat und Protonen sammeln sich an. Dies fördert Invasion, Metastasierung und Therapieresistenz.

pH-WERT

7.4 7.0 6.5 6.0 5.5

neutral sauer

## VERSTÄRKENDE UMWELTFAKTOREN



## HYPOXISCHE NISCHEN – ZUFLUCHTSORTE

Schlecht durchblutete Mikronischen bieten Schutz für Krebsstammzellen und resistente Zellpopulationen.



## VON SAUERSTOFF ZUR BIOLOGISCHEN SCHICKSALLANDSCHAFT

Der Sauerstoffgradient formt die Biologie des Tumors – von der Oberfläche bis zum Kern.

### GUT VERSORGT

TUMORRANDZONE

Proliferation

### INTERMITTIERENDE

HYPOXIEZONE

Selektion & Instabilität

### CHRONISCH HYPOXISCHER

TUMORKERN

Überleben & Anpassung

### INVASIVE FRONT &

METASTASIERUNG

Ausbreitung & Neubesiedlung

## ÜBERLEBENSSTRATEGIEN UNTER HYPOXIE



## HYPOXIE UND THERAPIERESISTENZ

Hypoxische Zellen sind widerstandsfähig gegen Bestrahlung, Chemotherapie und Immuntherapie.



Folge: Minimal Residual Disease (MRD) führt zu Rezidiven und Metastasen.

## HYPOXIE IST KEIN PROBLEM – SIE IST EINE STRATEGIE.

Wer den Sauerstoff kontrolliert, kontrolliert das Schicksal des Tumors.

Sauerstoffgradienten und Hypoxie

# DAS IMMUNSYSTEM IM TUMOR

## VERTEIDIGER, DIRIGENTEN UND HEMMSTELLEN

Das Immunsystem erkennt Tumorzellen, beurteilt die Gefahr, aktiviert Abwehrmechanismen und kann Krebs kontrollieren – oder durch Immunhemmung ausgebreitet werden.  
Das Gleichgewicht entscheidet über Kontrolle, Gleichgewicht oder Fortschreiten der Erkrankung.

### 1. ERKENNUNG DER GEFAHR

Dendritische Zellen nehmen Tumorantigene auf und präsentieren sie in den Lymphknoten.



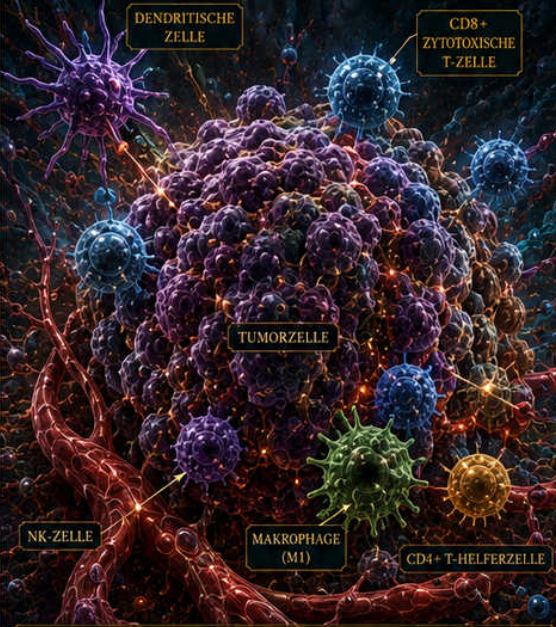
### 2. AKTIVIERUNG ADAPTIVER IMMUNITÄT

T-Zellen werden aktiviert und vermehren sich. Sie spezialisieren sich auf die Bekämpfung des Tumors.



### 3. EFFEKTORFUNKTIONEN GEGEN TUMORZELLEN

Aktivierte Immunzellen wandern in das Tumorgewebe und greifen Krebszellen auf verschiedene Weise an.



### IMMUNZELLEN IM TUMORMIKROMILIEU



### DAS IMMUNGLEICHGEWICHT ENTSCHIEDET

#### ELIMINATION

Tumor unter Kontrolle



Starke Immunantwort  
> Tumorzellen werden eliminiert.

#### GLEICHGEWICHT

Tumor in Schach gehalten



Gleichgewicht zwischen Immunabwehr  
und Tumorzellen – stabiler Zustand.

#### ENTKOMMEN

Tumor wächst



Immunhemmung überwiegt >  
Tumorzellen proliferieren.

### 4. IMMUNSUPPRESSION IM TUMOR

Tumore nutzen verschiedene Wege, um Immunantworten zu dämpfen und der Abwehr zu entkommen.



### 5. THERAPEUTISCHE ANGRIFFSPUNKTE

Moderne Immuntherapien lösen Blockaden und reaktivieren die körpereigene Tumorabwehr.



### FAKTOREN, DIE DIE IMMUNANTWORT BEEINFLUSSEN



### ZENTRALE BOTSCHAFT



Das Immunsystem kann Krebs erkennen und kontrollieren – wenn es nicht gebremst wird.

Therapie bedeutet, die richtigen Hebel zu finden, Blockaden zu lösen und die eigene Abwehr zu stärken.

EIN AKTIVES IMMUNSYSTEM IST NICHT NUR VERTEIDIGER –  
SONDERN ENTSCHEIDENDER PARTNER IM KAMPF GEGEN KREBS.

Das Immunsystem im Tumor

# DAS MIKROBIOM UND DIE DARMFLORA

## DIE VERGESSENE SCHALTZENTRALE IN DER KREBSSENTSTEHUNG UND -THERAPIE

Milliarden Mikroorganismen leben in Symbiose mit uns. Sie beeinflussen Entzündung, Immunantwort, Stoffwechsel, Hormonhaushalt, Entgiftung und sogar unsere Stimmung – und können Krebs fördern oder schützen.

### AUFGABEN DES MIKROBIOMS

- Verdauung komplexer Nahrungsbestandteile (Ballaststoffe, resistente Stärke)
- Produktion kurzkettiger Fettsäuren (SCFAs) wie Butyrat, Propionat, Acetat
- Stärkung der Darmbarriere und Schleimhautschicht
- Regulation des Immunsystems (Toleranz vs. Abwehr)
- Entgiftung und Abbau von Schadstoffen
- Synthese von Vitaminen (z. B. K, B12, Folat)
- Beeinflussung von Neurotransmittern (Serotonin, GABA, Dopamin)
- Schutz vor pathogenen Keimen durch Kolonisationsresistenz

### DAS DARMSÖKOSYSTEM – EIN KOMPLEXES LEBENSNETZ

Unser Darm beherbergt >100 Billionen Mikroorganismen mit >3 Millionen Genen. Sie bilden ein dynamisches Ökosystem, das mit jeder Zelle unseres Körpers kommuniziert.

### EUBIOSE vs. DYSBIOSE

**EUBIOSE (GESUND)**

- Hohe Diversität
- Viele nützliche Bakterienstämme
- Stabile Darmbarriere
- Geringe Entzündung
- Effiziente Stoffwechselprozesse
- Starke Immunregulation

VS.

**DYSBIOSE (GESTÖRT)**

- Geringe Diversität
- Überwucherung pathogener Keime
- Erhöhte Darmpermeabilität
- Chronische Entzündung
- Toxische Metabolite
- Immundysregulation

### SCHLÜSSEL-METABOLITE

- BUTYRAT**  
Entzündungshemmend, nährt Darmzellen, Tumorsuppressor
- PROPIONAT**  
Beeinflusst Glukoneogenese, Appetit und Immunantwort
- ACETAT**  
Energiequelle, reguliert Cholesterin und Fettstoffwechsel
- INDOLE & POLYPHENOLE**  
Modulieren AhR-Rezeptor, entgiften, schützen DNA
- SEKUNDÄRE GALLENESÄUREN**  
Können DNA schädigen oder – in Balance – die Verdauung unterstützen

### EIN GESUNDES MIKROBIOM = RESILIENZ UND SCHUTZ EINE DYSBIOSE = ENTZÜNDUNG UND KRANKHEIT

### DYSBIOSE UND KREBSRISIKO

- Fördert chronische Entzündung (z. B. IL-6, TNF-α, CRP)
- Erhöht DNA-Schäden durch toxische Metabolite
- Unterstützt Tumorwachstum und Angiogenese
- Beeinflusst Immunüberwachung negativ
- Korrelation mit Darmkrebs, Pankreas-, Leber-, Brust- und Prostatakrebs

### FREUNDLICHE BAKTERIEN (BEISPIELE)

Butyrat-Produktion    Schleimhautstärkung    Immunmodulation    Pathogenschutz

### NEUTRALE / OPPORTUNISTEN

In Balance nützlich – bei Dysbiose problematisch

### POTENZIELL SCHÄDLICHE BAKTERIEN

Entzündung – Toxinbildung – Barrierschädigung – Tumorförderung

### FÖRDERLICH

- Ballaststoffreiche, pflanzenbasierte Ernährung
- Fermentierte Lebensmittel (z. B. Sauerkraut, Kimchi)
- Präbiotika (z. B. Inulin, resistente Stärke)
- Polyphenole (z. B. Beeren, Grüntee, Kakao)
- Regelmäßige Bewegung
- Ausreichend Schlaf und Stressreduktion
- Zeit in der Natur und soziale Kontakte

### WAS BEEINFLUSST UNSER MIKROBIOM?

### SCHÄDLICH

- Antibiotika (breit und häufig)
- Zuckerreiche und hochverarbeitete Nahrung
- Künstliche Süßstoffe und Emulgatoren
- Chronischer Stress
- Umweltgifte, Schwermetalle, Pestizide
- Alkohol und Rauchen
- Bewegungsmangel

### THERAPEUTISCHE ANSÄTZE

- Präbiotika  
Nahrung für gute Bakterien
- Probiotika  
Geriete Zufuhr nützlicher Stämme
- Postbiotika  
Nützliche Metabolite und Bakterienbestandteile
- Fäkale Mikrobiota-Transplantation (FMT)  
bei therapieresistenter Dysbiose
- Personalisierte Ernährung  
nach Mikrobiom-Profil
- Darmbarriere stärken  
(z. B. Zink, Glutamin, Butyrat)

### MIKROBIOM UND THERAPIEERFOLG

Ein gesundes Mikrobiom verbessert die Wirksamkeit von Krebs-Therapien und reduziert Nebenwirkungen.

### DIE KOMMUNIKATIONSACHSE DARM – KÖRPER – GEHIRN

### KERNBOTSCHAFT

Ein vielfältiges, stabiles Mikrobiom ist ein mächtiger Schutzschild gegen Krebs. Wir können es jeden Tag neu aufbauen – mit der richtigen Ernährung, Lebensweise und gezielten Strategien.

### EIN GESUNDER DARMS – EIN STARKER SCHUTZ. PFLEGE DEIN MIKROBIOM – PFLEGE DEIN LEBEN.

### MIKROBIOM UND THERAPIEERFOLG

Das Mikrobiom und die Darmflora

# EPIGENETIK UND GENREGULATION

DIE DYNAMISCHE STEUERUNG UNSERER GENETISCHEN INFORMATION

Die Epigenetik beschreibt vererbare, aber reversible Veränderungen der Genaktivität, die ohne Veränderung der DNA-Sequenz entstehen. Sie entscheidet, welche Gene aktiv sind, welche stillgelegt werden und wie Zellen auf ihre Umwelt reagieren.

## MECHANISMEN DER EPIGENETISCHEN STEUERUNG

### DNA-METHYLIERUNG

Methylgruppen werden an Cytosin-Basen angehängt und vermindern die Aktivität vieler Gene.



### HISTON-MODIFIKATION

Acetylierung, Methylierung, Phosphorylierung u.a. verändern die Struktur der Histone und damit die Genaktivität.



### CHROMATIN-REMODELING

Spezielle Proteinkomplexe verschieben, entfernen oder ersetzen Histone und verändern die Zugänglichkeit der DNA.



### NON-CODING RNAs

MikroRNAs und lncRNAs steuern Gene, indem sie mRNA blockieren oder Chromatinstrukturen verändern.



## EPIGENETISCHE PLASTIZITÄT

Epigenetische Muster sind dynamisch und können sich an Umweltbedingungen anpassen – manchmal dauerhaft.



## EPIGENETIK UND KREBS

Krebszellen nutzen epigenetische Veränderungen, um Wachstumsgene zu aktivieren und Tumorsuppressorgene stillzulegen.

### ONKOGENE AKTIVIERUNG

Durch Demethylierung oder aktivierende Histonmodifikationen werden wachstumsfördernde Gene überaktiv.



### TUMORSUPPRESSOR-GENE STILLLEGUNG

Durch Methylierung oder repressive Histonmodifikationen werden schützende Gene abgeschaltet.



## EPIGENETISCHE THERAPIEN

Medikamente können epigenetische Veränderungen rückgängig machen und neue therapeutische Wege öffnen.



**AKTIVE GENREGION**  
offenes Chromatin  
Zugänglich für Transkriptionsfaktoren

**CHROMATIN DYNAMIK**  
Locker ↔ Dicht  
Aktiv ↔ Inaktiv

**DNA HISTON MODIFIKATIONEN**  
Bestimmen die Zugänglichkeit des Chromatins

**METHYLIERUNG**  
Cytosin-Methylierung (5mC) führt meist zur Abschaltung von Genen

**GEN AKTIVIERUNG**  
Wenn regulatorische Signale ein Gen "einschalten"

**GEN STILLLEGUNG**  
Wenn Chromatin verdichtet oder Gene methyliert werden

**ZELLKERN**  
Das epigenetische Kontrollzentrum der Zelle – hier entscheidet sich Schicksal und Funktion

## EINFLÜSSE AUF DAS EPIGENOM

Unsere Umwelt schreibt mit – ständig.

|                                                                         |                                                            |                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>ERNÄHRUNG</b><br>Methylgruppen, Co-Faktoren, Polyphenole, Fettsäuren | <b>STRESS</b><br>Cortisol, Entzündung, oxidativer Stress   | <b>TOXINE</b><br>Schwefelwasserstoff, Pestizide, Luftverschmutzung |
| <b>BEWEGUNG</b><br>Veränderte Stoffwechsel- und Entzündungszustand      | <b>SCHLAF</b><br>Beeinflusst zirkadiane Gene und Reparatur | <b>MIKROBIOM</b><br>Produziert Metabolite, die das Epigenom prägen |

## VON SIGNAL ZU GENANTWORT

So gelangen äußere Reize in den Zellkern.



## DER HISTON-CODE

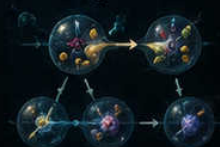
Die Kombination verschiedener Modifikationen bestimmt das Schicksal eines Gens.

- Aktivierende Modifikation
- Repressive Modifikation
- Weitere Modifikation



## EPIGENETISCHE ERINNERUNG

Epigenetische Markierungen können nach Zellteilung erhalten bleiben.



## DIE EPIGENETISCHE LANDSCHAFT

Ein dynamisches Zusammenspiel bestimmt Zellidentität, Funktion und Gesundheit.

|                                                                   |                                                                                     |                                                                                   |                                                                           |                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>STAMMZELLE</b><br>Offenes Proteom – viele Gene sind zugänglich | <b>DIFFERENZIERUNG</b><br>Epigenetische Muster lenken Zellen in spezialisierte Wege | <b>SPEZIALISIERTE ZELLE</b><br>Stabile Genprogramme erhalten über die Zellteilung | <b>ALTERUNG</b><br>Epigenetische Drift und Schäden verändern Genaktivität | <b>DISEASE / KREBS</b><br>Fehlregulation führt zu Funktionsverlust und Wachstum |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|

## DIE EPIGENETIK IST DIE SPRACHE ZWISCHEN UMWELT UND GENOM.

SIE BESTIMMT NICHT NUR, WAS WIR SIND – SONDERN AUCH, WAS WIR WERDEN KÖNNEN.



## Epigenetik und Genregulation



#### GEHIRN

Neuroinflammation, kognitive Störungen, Depression, Alzheimer

#### GEFÄSSE

Endothelschaden, Plaques, Thrombose, Herzinfarkt, Schlaganfall

#### HERZ

Entzündungsbedingte Herzschwäche, Herzrhythmusstörungen

#### LUNGE

Chronische Bronchitis, Asthma, COPD, verminderte Funktion

#### LEBER

Fettleber, Fibrose, NASH, eingeschränkte Entgiftung

#### MUSKELN

Sarkopenie, Schmerzen, Leistungsverlust, Ermüdung

#### GELENKE

Arthritis, Schmerzen, Knorpelabbau, Bewegungseinschränkung

#### HAUT

Ekzeme, Psoriasis, vorzeitige Alterung, Barriereverlust

### TEUFELSKREIS DER ENTZÜNDUNG

Auslöser bleiben bestehen → Entzündung wird chronisch → Der Kreislauf erhält sich selbst → Gewebeschaden nimmt zu → Immunaktivierung eskaliert → Entzündung wird chronisch

### WICHTIGE SCHUTZMECHANISMEN

- Resolvine, Protectine, Maresine (Entzündungsauflösung)
- Treg-Zellen – Immunregulation
- Antioxidantien – Schutz vor oxidativem Stress
- Mitochondriale Gesundheit – Energie und Balance
- Darmbarriere – Schutzschild
- Ausreichend Schlaf, Bewegung, Natur, soziale Verbundenheit

### WEGE AUS DER ENTZÜNDUNG

- Entzündungsarme Ernährung (whole foods, Omega-3, Polyphenole)
- Intervallfasten und Stoffwechselbalance
- Regelmäßige Bewegung und Krafttraining
- Stressreduktion und Atemregulation
- Ausreichend Schlaf und Erholung
- Darmgesundheit und Mikrobiomaufbau

### ZYKOKINSTURM – AKUTE EXTREMSITUATION

Bei schweren Infektionen, Sepsis oder Autoimmunreaktionen

Massive Zytokinfreisetzung → Gefäßleck und Organschäden → ARDS, Multiorganversagen → Hohe Mortalität

### ALTERUNG UND ENTZÜNDUNG

Inflammaging – chronische Entzündung als Alterungstreiber

Telomerverkürzung → Stammzellerschöpfung → Proteostase-Verlust → Mitochondriale Dysfunktion

### ENTZÜNDUNG UND KREBS

Chronische Entzündung schafft den Boden für Krebs

DNA-Schäden und Mutationen → Zellüberleben und -proliferation → Angiogenese und Gewebeumbau → Metastasen und Progression

## Systemische Entzündungslandschaften





## Literatur

- Aggarwal, B. B. & S. Shishodia (2006). „Molecular Targets of Dietary Agents for Prevention and Therapy of Cancer“. In: *Biochemical Pharmacology* 71.10, S. 1397–1421.
- Antoni, M. H., S. K. Lutgendorf, S. Cole, F. S. Dhabhar, S. E. Sephton, P. G. McDonald, M. Sood & A. K. Sood (2006). „The Influence of Bio-behavioural Factors on Tumour Biology: Pathways and Mechanisms“. In: *Nature Reviews Cancer* 6.3, S. 240–248.
- Bass, J. & J. S. Takahashi (2010). „Circadian Integration of Metabolism and Energetics“. In: *Science* 330.6009, S. 1349–1354.
- Batlle, E. & H. Clevers (2017). „Cancer Stem Cells Revisited“. In: *Nature Medicine* 23.10, S. 1124–1134.
- Baur, J. A., K. J. Pearson, N. L. Price, H. A. Jamieson, C. Lerin, A. Kalani u. a. (2006). „Resveratrol Improves Health and Survival of Mice on a High-Calorie Diet“. In: *Nature* 444.7117, S. 337–342.
- Besedovsky, L., T. Lange & M. Haack (2019). „The Sleep-Immune Crosstalk in Health and Disease“. In: *Physiological Reviews* 99.3, S. 1325–1380.
- Bianchini, D., J. M. Balko, I. A. Mayer, M. Sanders & L. Gianni (2016). „Triple-Negative Breast Cancer: Challenges and Opportunities of a Heterogeneous Disease“. In: *Nature Reviews Clinical Oncology* 13.11, S. 674–690.
- Blackburn, E. H. (2001). „Switching and Signaling at the Telomere“. In: *Cell* 106.6, S. 661–673.
- Brown, J. M. & W. R. Wilson (2004). „Exploiting Tumour Hypoxia in Cancer Treatment“. In: *Nature Reviews Cancer* 4.6, S. 437–447.
- Bubendorf, L., A. Schöpfer, U. Wagner, G. Sauter, H. Moch, N. Willi u. a. (2000). „Metastatic Patterns of Prostate Cancer: An Autopsy Study of 1,589 Patients“. In: *Human Pathology* 31.5, S. 578–583.
- Buck, M. D., D. O’Sullivan & E. L. Pearce (2015). „Metabolic Instruction of Immunity“. In: *Cell Metabolism* 21.3, S. 346–356.
- Campbell, J. P. & J. E. Turner (2018). „Debunking the Myth of Exercise-Induced Immune Suppression: Redefining the Impact of Exercise on Immunological Health Across the Lifespan“. In: *Frontiers in Immunology* 9, S. 648.
- Chaffer, C. L. & R. A. Weinberg (2011). „A Perspective on Cancer Cell Metastasis“. In: *Science* 331.6024, S. 1559–1564.
- Chiu, C.-Y. & T. M. Rana (2008). „Small RNAs: Regulators and Guardians of the Genome“. In: *Journal of Cellular Physiology* 215.1, S. 12–21.

- Copelan, E. A. (2006). „Hematopoietic Stem-Cell Transplantation“. In: *New England Journal of Medicine* 354.17, S. 1813–1826.
- Crum, C. P., R. Drapkin, A. Miron, T. A. Ince, M. Muto, K. Gwin u. a. (2010). „Lessons from BRCA: The Tubal Fimbria Emerges as an Origin for Pelvic Serous Cancer“. In: *Clinical Medicine Insights: Oncology* 4, S. 103–108.
- Dakubo, G. D., R. L. Parr, L. S. Costello, R. B. Franklin & R. E. Thayer (2006). „Altered Metabolism and Mitochondrial Genome in Prostate Cancer“. In: *Journal of Clinical Pathology* 59.1, S. 10–16.
- DeBerardinis, R. J. & N. S. Chandel (2016). „Fundamentals of Cancer Metabolism“. In: *Science Advances* 2.5, e1600200.
- DeBerardinis, R. J., N. Sayed, D. Ditsworth & C. B. Thompson (2008). „Brick by Brick: Metabolism and Tumor Cell Growth“. In: *Current Opinion in Genetics & Development* 18.1, S. 54–61.
- Delaney, G., S. Jacob, C. Featherstone & M. Barton (2005). „The Role of Radiotherapy in Cancer Treatment“. In: *Cancer* 104.6, S. 1129–1137.
- Demaria, S., C. N. Coleman & S. C. Formenti (2016). „Radiotherapy: Changing the Game in Immunotherapy“. In: *Trends in Cancer* 2.9, S. 439–449.
- Deutsche Hirntumorhilfe e.V. (2024). *Informationen zu Hirntumoren*. <https://www.hirntumorhilfe.de>. Patientenorientierte Aufklärung.
- DeVita, V. T., T. S. Lawrence & S. A. Rosenberg (2019). *DeVita, Hellman, and Rosenberg's Cancer: Principles & Practice of Oncology*. 11. Aufl. Philadelphia: Wolters Kluwer.
- Diamanti-Kandarakis, E., J.-P. Bourguignon, L. C. Giudice, R. Hauser, G. S. Prins, A. M. Soto u. a. (2009). „Endocrine-Disrupting Chemicals: An Endocrine Society Scientific Statement“. In: *Endocrine Reviews* 30.4, S. 293–342.
- Doll, R., R. Peto, J. Boreham & I. Sutherland (2004). „Mortality in Relation to Smoking: 50 Years' Observations on Male British Doctors“. In: *BMJ* 328.7455, S. 1519.
- Donaldson, M. S. (2004). „Nutrition and Cancer: A Review of the Evidence for an Anti-Cancer Diet“. In: *Nutrition Journal* 3, S. 19.
- Egeblad, M. & Z. Werb (2002). „New Functions for the Matrix Metalloproteinases in Cancer Progression“. In: *Nature Reviews Cancer* 2.3, S. 161–174.
- Elmore, S. (2007). „Apoptosis: A Review of Programmed Cell Death“. In: *Toxicologic Pathology* 35.4, S. 495–516.
- Erkan, M., S. Hausmann, C. W. Michalski, A. A. Fingerle, M. Dobritz, J. Kleeff & H. Friess (2012). „The Role of Stroma in Pancreatic Cancer“. In: *Surgical Oncology Clinics of North America* 21.4, S. 579–595.
- European Association of Neuro-Oncology (2023). *EANO Guidelines on Gliomas and Glioblastoma*. Leitlinien der Europäischen Neuro-Onkologie.
- Fearon, E. R. & B. Vogelstein (1990). „A Genetic Model for Colorectal Tumorigenesis“. In: *Cell* 61.5, S. 759–767.

- Fearon, K. C., D. J. Glass & D. C. Guttridge (2012). „Cancer Cachexia: Mediators, Signaling, and Metabolic Pathways“. In: *Cell Metabolism* 16.2, S. 153–166.
- Feinberg, A. P. (2018). „The Key Role of Epigenetics in Human Disease Prevention and Mitigation“. In: *New England Journal of Medicine* 378.14, S. 1323–1334.
- Feldman, D., A. V. Krishnan, S. Swami, E. Giovannucci & B. J. Feldman (2014). „The Role of Vitamin D in Reducing Cancer Risk and Progression“. In: *Nature Reviews Endocrinology* 10.6, S. 339–351.
- Ferrara, N. (2004). „Vascular Endothelial Growth Factor: Basic Science and Clinical Progress“. In: *Endocrine Reviews* 25.4, S. 581–611.
- Fidler, I. J. (2003). „The Pathogenesis of Cancer Metastasis: The 'Seed and Soil' Hypothesis Revisited“. In: *Nature Reviews Cancer* 3.6, S. 453–458.
- Fine, E. J. & R. D. Feinman (2009). „Thermodynamic Regulation of Glucose Metabolism in Mammalian Liver in Connection with the Warburg Effect and Malignancy“. In: *Nutrition & Metabolism* 6, S. 45.
- Folmes, C. D., T. J. Nelson, A. Martinez-Fernandez, S. Yamada, C. Perez-Terzic & A. Terzic (2012). „Energy Metabolism Plasticity Enables Stemness Programs“. In: *Annals of the New York Academy of Sciences* 1271.1, S. 66–76.
- Forner, A., J. M. Llovet & J. M. Bruix (2018). „Hepatocellular Carcinoma“. In: *Lancet* 391.10127, S. 1301–1314.
- Friedberg, E. C., G. C. Walker, W. Siede, R. D. Wood, R. A. Schultz & T. Ellenberger (2006). *DNA Repair and Mutagenesis*. 2. Aufl. Washington, DC: ASM Press.
- Garraway, L. A., J. Verweij & K. V. Ballman (2013). „Precision Oncology: An Overview“. In: *Journal of Clinical Oncology* 31.15, S. 1803–1805.
- Garrett, W. S. (2015). „Cancer and the Microbiota“. In: *Science* 348.6230, S. 80–86.
- Gatenby, R. A. & R. J. Gillies (2004). „Why Do Cancers Have High Aerobic Glycolysis?“. In: *Nature Reviews Cancer* 4.11, S. 891–899.
- Gilkes, D. M., G. L. Semenza & D. Wirtz (2014). „Hypoxia and the Extracellular Matrix: Regulators of Stem Cell and Metastasis“. In: *Biochimica et Biophysica Acta* 1843.8, S. 1756–1765.
- Gopalakrishnan, V., C. N. Spencer, N. B. Nezlin u. a. (2018). „Gut Microbiome Modulates Response to Anti-PD-1 Immunotherapy in Melanoma Patients“. In: *Science* 359.6371, S. 97–103.
- Green, D. R., L. Galluzzi & G. Kroemer (2014). „Metabolic Control of Cell Death“. In: *Science* 345.6203, S. 1250256.
- Grivennikov, S. I., F. R. Greten & M. Karin (2010). „Immunity, Inflammation, and Cancer“. In: *Cell* 140.6, S. 883–899.
- Gupta, P. B. & J. Massagué (2006). „Cancer Metastasis: Building a Better Framework“. In: *Nature Genetics* 38.5, S. 497–503.
- Gupta, S. C., B. Sung, J. H. Kim, S. Prasad, S. Li & B. B. Aggarwal (2013). „Multi-targeting by Turmeric, the Golden Spice: From Kitchen to Clinic“. In: *Molecular Nutrition & Food Research* 57.9, S. 1510–1528.

- Hall, E. J. & A. J. Giaccia (2018). *Radiobiology for the Radiologist*. 8. Aufl. Philadelphia: Wolters Kluwer.
- Hanahan, D. (2022). „Hallmarks of Cancer: New Dimensions“. In: *Cancer Discovery* 12.1, S. 31–46.
- Hanahan, D. & R. A. Weinberg (2011). „Hallmarks of Cancer: The Next Generation“. In: *Cell* 144.5, S. 646–674.
- Heiden, M. G. V., L. C. Cantley & C. B. Thompson (2009). „Understanding the Warburg Effect: The Metabolic Requirements of Cell Proliferation“. In: *Science* 324.5930, S. 1029–1033.
- Herbst, R. S., D. Morgensztern & C. Boshoff (2018). „The Biology and Management of Non-Small Cell Lung Cancer“. In: *Nature* 553.7689, S. 446–454.
- Higdon, J. V., B. Delage, D. E. Williams & R. H. Dashwood (2012). „Glucosinolates and Isothiocyanates in Health and Disease: Molecular Actions and Interactions with Human Cells“. In: *Trends in Molecular Medicine* 18.10, S. 558–576.
- Hodi, F. S., S. J. O’Day, D. F. McDermott, R. Weber, J. A. Sosman, J. B. Haanen u. a. (2010). „Improved Survival with Ipilimumab in Patients with Metastatic Melanoma“. In: *New England Journal of Medicine* 363.8, S. 711–723.
- Hoffbrand, A. V., P. A. H. Moss & J. E. Pettit (2016). *Postgraduate Haematology*. 7. Aufl. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Huggins, C. & C. V. Hodges (1941). „Studies on Prostatic Cancer: I. The Effect of Castration, of Estrogen and of Androgen Injection on Serum Phosphatases in Metastatic Carcinoma of the Prostate“. In: *Cancer Research* 1.4, S. 293–297.
- Hustinx, R., F. Benard & A. Alavi (2002). „Whole-Body FDG-PET Imaging in the Management of Patients with Colorectal Carcinoma“. In: *Academic Radiology* 9.6, S. 617–631.
- Jain, R. K. (2005). „Normalization of Tumor Vasculature: An Emerging Concept in Antiangiogenic Therapy“. In: *Science* 307.5706, S. 58–62.
- Jones, P. A., J.-P. J. Issa & S. B. Baylin (2016). „Targeting the Cancer Epigenome for Therapy“. In: *Nature Reviews Genetics* 17.10, S. 630–641.
- Kalluri, R. & R. A. Weinberg (2009). „The Basics of Epithelial-Mesenchymal Transition“. In: *Journal of Clinical Investigation* 119.6, S. 1420–1428.
- Karin, M. (2006). „Nuclear Factor- $\kappa$ B in Cancer Development and Progression“. In: *Nature* 441.7092, S. 431–436.
- Karst, A. M. & R. Drapkin (2010). „Ovarian Cancer Pathogenesis: A Model in Evolution“. In: *Journal of Oncology* 2010, S. 842310.
- Lambert, A. W., D. K. Pattabiraman & R. A. Weinberg (2017). „Emerging Biological Principles of Metastasis“. In: *Cell* 168.4, S. 670–691.
- LeBleu, V. S., J. T. O’Connell, K. N. G. Herrera, H. Wikman, K. Pantel, M. C. Haigis u. a. (2014). „PGC-1 $\alpha$  Mediates Mitochondrial Biogenesis and Oxidative Phosphorylation in Cancer Cells to Promote Metastasis“. In: *Nature Cell Biology* 16.10, S. 992–1003.

- Levine, A. J. (1997). „p53, the Cellular Gatekeeper for Growth and Division“. In: *Cell* 88.3, S. 323–331.
- Levine, B., N. Mizushima & H. W. Virgin (2011). „Autophagy in Immunity and Inflammation“. In: *Nature* 469.7330, S. 323–335.
- Lindahl, T. (1993). „Instability and Decay of the Primary Structure of DNA“. In: *Nature* 362.6422, S. 709–715.
- Longo, V. D. & M. P. Mattson (2014). „Fasting: Molecular Mechanisms and Clinical Applications“. In: *Cell Metabolism* 19.2, S. 181–192.
- Mansouri, L., R. Gunnarsson, L. A. Sutton, A. Ameur, S. D. Hooper, M. Mayrhofer, G. Juliusson, A. Isaksson, U. Gyllensten & R. Rosenquist (2012). „Next Generation RNA-Sequencing in Prognostic Subsets of Chronic Lymphocytic Leukemia“. In: *American Journal of Hematology* 87.7, S. 737–740.
- Maude, S. L., T. W. Laetsch, J. Park, D. M. Barrett, N. Bunin, M. E. Borowitz u. a. (2018). „Tisagenlecleucel in Children and Young Adults with B-Cell Lymphoblastic Leukemia“. In: *New England Journal of Medicine* 378.5, S. 439–448.
- McEwen, B. S. (1998). „Protective and Damaging Effects of Stress Mediators“. In: *New England Journal of Medicine* 338.3, S. 171–179.
- McGuigan, A., P. Kelly, R. C. Turkington, C. Jones, H. G. Coleman & R. S. McCain (2018). „Pancreatic Cancer: A Review of Clinical Diagnosis, Epidemiology, Treatment and Current Research“. In: *World Journal of Gastroenterology* 24.43, S. 4846–4861.
- McTiernan, A. (2008). „Mechanisms Linking Physical Activity with Cancer“. In: *Nature Reviews Cancer* 8.3, S. 205–211.
- Miller, A. J. & M. C. M. Jr. (2006). „Melanoma“. In: *New England Journal of Medicine* 355.1, S. 51–65.
- Moore, K., N. Colombo, G. Scambia, B.-G. Kim, A. Oaknin, M. Friedlander u. a. (2018). „Maintenance Olaparib in Patients with Newly Diagnosed Advanced Ovarian Cancer“. In: *New England Journal of Medicine* 379.26, S. 2495–2505.
- Narayanan, D. L., R. R. Saladi & J. L. Fox (2010). „Ultraviolet Radiation and Skin Cancer“. In: *International Journal of Dermatology* 49.9, S. 978–986.
- Neoptolemos, J. P., D. H. Palmer, P. Ghaneh, D. Cunningham, J. W. Valle, O. J. Garden u. a. (2017). „Comparison of Adjuvant Gemcitabine and Capecitabine with Gemcitabine Monotherapy in Patients with Resected Pancreatic Cancer (ESPAC-4): A Multicentre, Open-Label, Randomised, Phase 3 Trial“. In: *Lancet* 389.10073, S. 1011–1024.
- Nicholls, D. G. & S. J. Ferguson (2013). *Bioenergetics*. 4. Aufl. London: Academic Press.
- Noman, M. Z., M. Z. Hasmmim, Y. Messai, H. Chouaib, S. Chouaib, C. Hasmmim u. a. (2015). „Hypoxia: A Key Player in Antitumor Immunity“. In: *Oncoimmunology* 4.3, e1056364.
- Pardoll, D. M. (2012). „The Blockade of Immune Checkpoints in Cancer Immunotherapy“. In: *Nature Reviews Cancer* 12.4, S. 252–264.

- Park, J., T. S. Morley, M. Kim, D. J. Clegg & P. E. Scherer (2014). „Obesity and Cancer—Metabolism and Microenvironment“. In: *Oncogene* 33.16, S. 2019–2032.
- Pavlova, N. N. & C. B. Thompson (2016). „The Emerging Hallmarks of Cancer Metabolism“. In: *Cell Metabolism* 23.1, S. 27–47.
- Pedersen, B. K. & B. Saltin (2015). „Exercise as Medicine—Evidence for Prescribing Exercise as Therapy in 26 Different Chronic Diseases“. In: *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 25.Suppl 3, S. 1–72.
- Perou, C. M., T. Sørlie, M. B. Eisen, M. van de Rijn, S. S. Jeffrey, C. A. Rees u. a. (2000). „Molecular Portraits of Human Breast Tumours“. In: *Nature* 406.6797, S. 747–752.
- Poff, A. M., C. Ari, P. Arnold, T. N. Seyfried & D. P. D’Agostino (2014). „Ketone Supplementation Decreases Tumor Cell Viability and Prolongs Survival of Mice with Metastatic Cancer“. In: *International Journal of Cancer* 135.7, S. 1711–1720.
- Pollak, M. (2008). „Insulin and Insulin-Like Growth Factor Signalling in Neoplasia“. In: *Nature Reviews Cancer* 8.12, S. 915–928.
- Pui, C.-H., C. G. Mullighan, W. E. Evans & J. R. Downing (2011). „Genomic Analyses in the Discovery and Treatment of Childhood Acute Lymphoblastic Leukaemia“. In: *Nature Reviews Cancer* 11.7, S. 484–495.
- Quail, D. F. & J. A. Joyce (2013). „Microenvironmental Regulation of Tumor Progression and Metastasis“. In: *Nature Medicine* 19.11, S. 1423–1437.
- Reid, B. M., J. B. Permuth & T. A. Sellers (2017). „Epidemiology of Ovarian Cancer: A Review“. In: *Cancer Biology & Medicine* 14.1, S. 9–32.
- Reuter, S., S. C. Gupta, M. M. Chaturvedi & B. B. Aggarwal (2010). „Oxidative Stress, Inflammation, and Cancer: How Are They Linked?“ In: *Free Radical Biology & Medicine* 49.11, S. 1603–1616.
- Ribas, A. & J. D. Wolchok (2018). „Cancer Immunotherapy Using Checkpoint Blockade“. In: *Science* 359.6382, S. 1350–1355.
- Robert Koch-Institut und GEKID (2023). *Krebs in Deutschland. Daten und Fakten zur Krebsfrüherkennung und Epidemiologie*. Berlin.
- Sapolsky, R. M. (2004). *Why Zebras Don’t Get Ulcers*. Henry Holt.
- Schmitz, K. H., K. S. Courneya, C. Matthews, W. Demark-Wahnefried, D. A. Galv’ao, B. M. Pinto u. a. (2010). „American College of Sports Medicine Roundtable on Exercise Guidelines for Cancer Survivors“. In: *Medicine & Science in Sports & Exercise* 42.7, S. 1409–1426.
- Schoen, R. E. u. a. (2018). „Colorectal-Cancer Screening — A Review“. In: *New England Journal of Medicine* 378.18, S. 1733–1744.
- Schwabe, R. F. & C. Jobin (2013). „The Microbiome and Cancer“. In: *Nature Reviews Cancer* 13.11, S. 800–812.
- Scott, A. M., J. D. Wolchok & L. J. Old (2012). „Antibody Therapy of Cancer“. In: *Nature Reviews Cancer* 12.4, S. 278–287.
- Semenza, G. L. (2003). „Targeting HIF-1 for Cancer Therapy“. In: *Nature Reviews Cancer* 3.10, S. 721–728.

- Seyfried, T. N. (2012). *Cancer as a Metabolic Disease*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Shay, J. W. & W. E. Wright (2011). „Role of Telomeres and Telomerase in Cancer“. In: *Seminars in Cancer Biology* 21.6, S. 349–353.
- Siegel, R. L., A. N. Giaquinto & A. Jemal (2024). „Cancer Statistics, 2024“. In: *CA: A Cancer Journal for Clinicians* 74.1, S. 12–49.
- Straif, K., R. Baan, Y. Grosse, B. Secretan, F. E. Ghissassi & V. Coglianò (2007). „Carcinogenicity of Shift-Work, Painting, and Fire-Fighting“. In: *Lancet Oncology* 8.12, S. 1065–1066.
- Stupp, R., W. P. Mason, M. J. van den Bent u. a. (2005). „Radiotherapy plus Concomitant and Adjuvant Temozolomide for Glioblastoma“. In: *New England Journal of Medicine* 352.10, S. 987–996.
- Surh, Y.-J., K. S. Chun, H.-K. Cha, S. S. Han, Y.-S. Keum, K.-K. Park & S. S. Lee (2003). „Molecular Mechanisms Underlying Chemopreventive Activities of Anti-Inflammatory Phytochemicals: Life-Long Learning from Dr. Lee“. In: *Mutation Research* 523–524, S. 191–202.
- Swann, J. B. & M. J. Smyth (2007). „Immune Surveillance of Tumors“. In: *Journal of Clinical Investigation* 117.5, S. 1137–1146.
- Topol, E. J. (2019). „High-Performance Medicine: The Convergence of Human and Artificial Intelligence“. In: *Nature Medicine* 25.1, S. 44–56.
- Toraya-Brown, S., M. R. Sheen, P. Zhang, L. Chen, J. R. Baird, E. Demidenko, M. J. Turk, P. J. Hoopes, J. R. Conejo-Garcia & S. Fiering (2014). „Local Hyperthermia Treatment of Tumors Induces CD8+ T Cell-Mediated Resistance Against Distal and Secondary Tumors“. In: *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine* 10.6, S. 1273–1285.
- Trachootham, D., J. Alexandre & P. Huang (2009). „Targeting Cancer Cells by ROS-Mediated Mechanisms: A Radical Therapeutic Approach?“. In: *Nature Reviews Drug Discovery* 8.7, S. 579–591.
- Valko, M., D. Leibfritz, J. Moncol, M. T. D. Cronin, M. Mazur & J. Telser (2007). „Free Radicals and Antioxidants in Normal Physiological Functions and Human Disease“. In: *International Journal of Biochemistry & Cell Biology* 39.1, S. 44–84.
- Vigneri, P., F. Frasca, L. Sciacca, G. Pandini & R. Vigneri (2009). „Diabetes and Cancer“. In: *Oncogene* 28.40, S. 4245–4267.
- Walker, M. (2017). *Why We Sleep: Unlocking the Power of Sleep and Dreams*. New York: Scribner.
- Wallace, D. C. (2012). „Mitochondria and Cancer“. In: *Nature Reviews Cancer* 12.10, S. 685–698.
- Warburg, O. (1956). „On the Origin of Cancer Cells“. In: *Science* 123.3191, S. 309–314.
- Watson, J. D. (2015). „Controlling Cancer Through Hypoxia“. In: *Open Biology* 5.7, S. 150120.
- Welch, H. G. u. a. (2016). „Overdiagnosis in Cancer“. In: *JAMA Oncology* 2.9, S. 1123–1125.

## Literatur

- WHO Classification of Tumours Editorial Board (2021). *WHO Classification of Tumours of the Central Nervous System*. 5. Aufl. Lyon: IARC Press.
- Wild, C. P. (2012). „The Exposome: From Concept to Utility“. In: *International Journal of Epidemiology* 41.1, S. 24–32.
- World Cancer Research Fund & American Institute for Cancer Research (2018). *Diet, Nutrition, Physical Activity and Cancer: A Global Perspective*. London: World Cancer Research Fund International.
- World Health Organization (2025). *Cancer Fact Sheets*. Online resource.
- Wust, P., B. Hildebrandt, G. Sreenivasa, B. Rau, J. Gellermann, H. Riess u. a. (2002). „Hyperthermia in Combined Treatment of Cancer“. In: *Lancet Oncology* 3.8, S. 487–497.
- Younossi, Z. M., A. B. Koenig, D. Abdelatif, R. Fazel, L. Henry & M. Wymer (2016). „Global Epidemiology of Nonalcoholic Fatty Liver Disease—Meta-Analytic Assessment of Prevalence, Incidence, and Outcomes“. In: *Hepatology* 64.1, S. 73–84.
- Zee, J. van der (2002). „Heating the Patient: A Promising Approach?“ In: *Annals of Oncology* 13.8, S. 1173–1184.

# VERSTEHEN. VORBEUGEN. BESIEGEN.

DER GANZHEITLICHE WEGWEISER  
FÜR KÖRPER, GEIST UND ZELLEN

Krebs ist mehr als eine Diagnose – es ist ein komplexes Zusammenspiel aus Stoffwechsel, Entzündung, Umfeld und Zellverhalten.

Dieses Buch zeigt, wie all diese Faktoren zusammenwirken – und was du konkret tun kannst.



**VERSTEHE**  
die biologischen  
Ursachen



**STÄRKE**  
dein Immunsystem  
und deine Zellen



**REDUZIERE**  
Entzündung, Stress  
und Belastungen



**AKTIVIERE**  
deine körpereigenen  
Schutzmechanismen



**PFLEGE**  
Mikrobiom und  
Stoffwechsel



**FÖRDERE**  
Regeneration und  
Energie

## ✧ DIE AUTOREN ✧



### HERMANN BENSE

Forscher, KI-Architekt und Ontologie-Experte.

Seit über drei Jahrzehnten entwickelt er Wissensmodelle, semantische Architekturen und intelligente Systeme an der Schnittstelle von Künstlicher Intelligenz, Ontologien und Wissensrepräsentation. Er ist Schöpfer der WUMM Workbench – einer leistungsfähigen Plattform für Wissensmodellierung, Simulation und systemisches Denken. Seine Arbeit prägt Forschung und Praxis in komplexen Wissensdomänen weltweit.



### DETLEF SCHULZ

Autor, Forscher, Experte für Umwelttechnik und Gesundheits-Enthusiast.

Seit vielen Jahren beschäftigt er sich mit den tiefen Zusammenhängen von Stoffwechsel, Zellgesundheit und chronischen Erkrankungen. Darüber hinaus ist er Experte für Umwelttechnik und hat weltweit bereits zahlreiche

Photovoltaik-Anlagen erfolgreich geplant und umgesetzt. Sein Ziel: Menschen befähigen, ihre Gesundheit selbst in die Hand zu nehmen – mit Wissen, Bewusstsein und der richtigen Strategie.

[www.bense.com](http://www.bense.com)