LIFE Science Hub
JOURNAL OF SCIENCE
EXPANDING KNOWLEDGE ABOUT NUTRITION AND HEALTH

ORIGINAL RESEARCH
Band 1, Ausgabe 4, November 2026

Tribulus terrestris: Eigenschaften, Nahrungsergänzung und detaillierte Behandlung von Erkrankungen

Dott. A. Colonnese[1], R. Panzironi[2]

1 Ernährungsbiologe, Italy
2 Unabhängiger Forscher, Italy

1. ABSTRACT

Tribulus terrestris ist eine Pflanze, die in den letzten Jahren auf großes Interesse gestoßen ist. Dieses Interesse beruht auf ihrer historischen Verwendung, dem Markt für Nahrungsergänzungsmittel sowie neuen klinischen und experimentellen Studien. Es handelt sich um eine einjährige krautige Pflanze: Sie keimt, wächst und vollendet ihren Lebenszyklus innerhalb eines Jahres. Sie gehört zur Familie der Jochblattgewächse (Zygophyllaceae) und wächst in mediterranen, tropischen und subtropischen Regionen. Seit Jahrhunderten nutzen verschiedene Formen der traditionellen Medizin diese Pflanze für sehr unterschiedliche Zwecke. Die Wissenschaft untersucht den Phytokomplex, also das Zusammenspiel aller aktiven Substanzen, und nicht nur einen einzelnen Wirkstoff. Die am häufigsten untersuchten Moleküle sind Steroidsaponine, pflanzliche Substanzen, die bestimmten Steroiden ähneln. Die Pflanze enthält zudem Flavonoide, Phytosterole und weitere Stoffe, die durch ihren Stoffwechsel gebildet werden. Daher können die Wirkungen je nach Extrakt, dessen Qualität und der Art der Anwendung variieren. In populärwissenschaftlichen Texten wird Tribulus häufig zur Steigerung von Testosteron, Libido, Vitalität oder Stoffwechsel empfohlen. Die Studienlage zeichnet jedoch ein weniger eindeutiges Bild: Einige Daten sind vielversprechend, andere bleiben noch unsicher. Es ist notwendig, zwischen den Eigenschaften der Pflanze, der Verwendung in Nahrungsergänzungsmitteln, möglichen klinischen Anwendungen und den Grenzen der wissenschaftlichen Belege zu unterscheiden. Der Artikel erläutert, wie der Phytokomplex wirkt und wann es sinnvoll sein kann, ein entsprechendes Nahrungsergänzungsmittel zu wählen. Er untersucht zudem AMPK (den zellulären Energiesensor) und mTOR (den Signalweg, der das Zellwachstum reguliert). Des Weiteren wird die Rolle von Stickstoffmonoxid, Orexin und Cortisol bei den möglichen Wirkungen der Pflanze bewertet. Zusammengenommen helfen diese Signalwege dabei, die heute vorliegenden Daten besser zu interpretieren und zu verstehen. Zusammenfassend sind dies die Kernpunkte, die wir in den folgenden Abschnitten einzeln vertiefen werden:

- Pflanzlicher Phytokomplex mit Saponinen, Flavonoiden und aktiven Phytosterolen.
- Traditionelle Anwendung in Verbindung mit Vitalität, Diurese und sexuellem Wohlbefinden.
- Variable Ergebnisse in Studien am Menschen zu Testosteron, Verlangen und sexueller Funktion.
- Die Qualität des Extrakts ist entscheidend für zuverlässige Ergebnisse.
- Die mTOR-, AMPK- und Stresssignalwege erklären einen Teil der Wirkungen.

ONLINE ARTICLE

ARTICLE INFORMATION

Published: November 10, 2026
Updated: November 11, 2026
Reviewed: November 11, 2026

DOI 10.68559/lsh.2026.236.de

MISSION

LIFE Science Hub – Journal of Science entstand mit dem Ziel, wissenschaftliches Wissen zugänglich zu machen, ohne auf methodische Strenge, Qualität der Quellen und Verlässlichkeit der Inhalte zu verzichten. Die Zeitschrift fördert die Verbreitung von Wissen in den Gesundheits-, Ernährungs-, Medizin- und Langlebigkeitswissenschaften und schlägt so eine Brücke zwischen der Welt der Forschung und der Gesellschaft.

Durch Artikel, Übersichtsarbeiten, vertiefende Beiträge und Expertenbeiträge stärkt das Journal die evidenzbasierte Medizin und Wissenschaft, fördert eine korrekte Interpretation wissenschaftlicher Daten und tritt Fehlinformationen entgegen. Jeder Inhalt wird mit dem Ziel entwickelt, die Komplexität der Forschung in verständliche, nützliche und anwendbare Informationen zu übersetzen, wobei die Grundsätze von Genauigkeit, Transparenz und wissenschaftlicher Unabhängigkeit unangetastet bleiben.

Frei von politischen, industriellen und kommerziellen Einflüssen versteht sich die Zeitschrift als maßgeblicher und unabhängiger redaktioneller Raum, der der Förderung der wissenschaftlichen Kultur, der beruflichen Weiterbildung und dem Wachstum des Gesundheitsbewusstseins in der Bevölkerung gewidmet ist.

2. DIE EIGENSCHAFTEN VON TRIBULUS TERRESTRIS

Die Eigenschaften von Tribulus terrestris hängen von seinem Phytokomplex ab, also der Gesamtheit der in der Pflanze enthaltenen Substanzen. Sie sind daher nicht auf ein einzelnes Molekül zurückzuführen. Der Phytokomplex umfasst Steroidsaponine, Flavonoide, Phytosterole und andere sekundäre Pflanzenstoffe (von der Pflanze produzierte Substanzen).Flavonoide sind pflanzliche Verbindungen mit verschiedenen biologischen Aktivitäten. Phytosterole hingegen weisen eine ähnliche Struktur wie Cholesterin auf. Jede Gruppe kann auf unterschiedliche Weise zu den beobachteten Wirkungen beitragen. Aus diesem Grund sind Extrakte nicht alle gleich. Rohmaterial, Herstellungsverfahren und Standardisierung (definierte Menge des Wirkstoffs) können variieren [1][2][3].Um diese Eigenschaften zu bewerten, muss zwischen traditionellen Anwendungen und Studien an Zellen, Tieren und Menschen unterschieden werden. Eine Wirkung, die bei einem Standardextrakt beobachtet wurde, lässt sich nicht automatisch auf jedes verfügbare Produkt übertragen.Diese Unterschiede helfen auch dabei, die Daten zur Supplementierung mit Tribulus terrestris einzuordnen. Eine randomisierte Studie untersuchte Frauen mit sexueller Funktionsstörung. Eine Dosis von 7,5 mg täglich über 4 Wochen verbesserte den Gesamtscore des FSFI. Der FSFI (Female Sexual Function Index) misst verschiedene Aspekte der weiblichen Sexualfunktion. Unter den 60 Teilnehmerinnen, die die Behandlung abschlossen, verbesserten sich auch einige spezifische Aspekte [4].Klinische Zusammenfassungen zur erektilen Dysfunktion zeigen jedoch uneinheitliche Ergebnisse. Der Ausgang hängt stark von der Qualität des Extrakts und der in der Studie angewandten Methode ab [5][6][7]. Die Pflanze ist daher kein Allheilmittel. Sie zeigt verschiedene mögliche Wirkungen, doch für einige sind noch solidere und konsistentere Belege erforderlich [8][2]. Die wichtigsten Forschungsbereiche sind:

- Studien untersuchen saponinreiche Extrakte vor allem hinsichtlich ihrer Wirkung auf die sexuelle Funktion.
- Einige Verbindungen besitzen eine antioxidative Wirkung, das heißt, sie helfen, Schäden durch freie Radikale zu reduzieren.
- Studien untersuchen Teile, die reich an Diosgenin und Dioscin sind, auf mögliche Auswirkungen auf den Stoffwechsel.
- Die Unterschiede zwischen den Extrakten erschweren einen direkten Vergleich der Ergebnisse verschiedener Studien.
- Die fundiertesten Ergebnisse hängen von der Dosierung, dem verwendeten Produkt und dem klinischen Kontext ab.

Die folgenden drei H3-Überschriften helfen dabei, die Eigenschaften von Tribulus terrestris aus drei Perspektiven zu verstehen: Zusammensetzung, traditionelle Anwendungen und der Bezug zu klinischen Studien.

2.1 Was ist Tribulus terrestris und warum wird es als Phytokomplex betrachtet

Tribulus terrestris enthält nicht nur einen einzigen Wirkstoff. Die Pflanze vereint verschiedene Stoffklassen, die zusammenwirken können. Deshalb wird sie als Phytokomplex bezeichnet. Ihr Profil umfasst Steroidsaponine, Flavonoide, Phytosterole und Alkaloide (stickstoffhaltige Pflanzenverbindungen). Zudem enthält sie weitere sekundäre Pflanzenstoffe, also Substanzen, die von der Pflanze produziert werden. Diese Definition verhindert, dass jede Wirkung auf ein einzelnes Molekül reduziert wird. Die verschiedenen Bestandteile des Phytokomplexes können nämlich auf unterschiedliche Prozesse einwirken. Einige stehen mit dem endokrinen System, das die Hormone reguliert, und dem Stoffwechsel in Verbindung. Andere werden hinsichtlich ihrer Wirkung gegen oxidativen Stress oder zur Entzündungshemmung untersucht. Auch Studien zeigen, dass sich die im Handel erhältlichen Produkte stark voneinander unterscheiden können. Nicht alle enthalten die gleiche Menge an Wirkstoffen oder weisen den gleichen Standardisierungsgrad auf. Die Standardisierung ist der Prozess, bei dem die Zusammensetzung eines Produkts festgelegt und kontrolliert wird. Der Rohstoff, die Extraktionsmethode und der Saponinanteil können das Endprodukt verändern. Es ist daher wichtig zu wissen, ob eine Studie die ganze Pflanze, einen

titrierten Extrakt oder einzelne Substanzen verwendet. Diese Unterscheidung hilft dabei, die Ergebnisse richtig zu interpretieren. Sie verhindert auch, dass Effekte, die in präklinischen Modellen (Tests an Zellen oder Tieren) beobachtet wurden, vorschnell auf den Menschen übertragen werden. Der botanische Name allein lässt daher keine Rückschlüsse auf die Wirkung eines Produkts zu. Man muss dessen Zusammensetzung, die Dosierung und die Art und Weise, wie es untersucht wurde, kennen. Dieselbe Pflanze kann Präparate mit unterschiedlichen chemischen Profilen und somit unterschiedlichen Ergebnissen liefern. Die Standardisierung dient genau dazu, zu definieren, welche Substanzen ein Extrakt enthält und in welcher Menge. Dies ist auch in neueren Übersichtsarbeiten eine zentrale Anforderung. Bei der Bewertung dieser Pflanze zählt also das tatsächliche Produkt und nicht nur der Name auf dem Etikett [2][3].

2.2 Wo Tribulus terrestris vorkommt und wie es traditionell verwendet wird

Tribulus terrestris wächst in heißen und trockenen Gebieten vieler Regionen der Welt, insbesondere im Mittelmeerraum, in Asien, Afrika und in subtropischen Zonen. Diese geografische Verbreitung erklärt, warum die Pflanze Eingang in verschiedene medizinische Traditionen gefunden hat, oft mit ähnlichen, aber nicht identischen Anwendungen. Historisch wurde sie als allgemeines Tonikum, also als unspezifische Unterstützung der Vitalität, zur Förderung der Diurese, also der Urinproduktion, als Mittel gegen Harnwegsbeschwerden und zur Stärkung der Vitalität eingesetzt, wobei sie lange Zeit symbolisch mit männlicher Kraft und reproduktiver Gesundheit assoziiert wurde. Die traditionelle Verwendung bedeutet jedoch nicht automatisch eine nachgewiesene klinische Wirksamkeit: Sie stellt vielmehr einen nützlichen Ausgangspunkt für die Generierung von Forschungshypothesen dar. Das moderne Interesse konzentriert sich heute vor allem auf Extrakte und Fraktionen, die reich an Saponinen sind und auf ihre möglichen Auswirkungen auf die sexuelle Funktion, den Stoffwechsel und oxidativen Stress untersucht werden. Diese Unterscheidung hilft dabei, den ethnobotanischen Kontext vom zeitgenössischen nutrazeutischen Kontext zu trennen und zu vermeiden, die Anwendungsgeschichte mit einem definitiven Wirksamkeitsnachweis zu verwechseln. Dies ist ein wichtiger Schritt, um sowohl die Tradition als auch die aktuelle Forschung, die sich auf unterschiedlichen, aber komplementären Ebenen bewegt, korrekt zu interpretieren. Die Pflanze sollte daher weder nur als Volksheilmittel noch als automatische Lösung für jedes Wohlbefinden betrachtet werden. Der Wert der Tradition liegt darin, mögliche Forschungsrichtungen aufzuzeigen, nicht darin, die wissenschaftliche Methode zu ersetzen. In diesem Sinne ist Tribulus ein klassisches Beispiel dafür, wie eine Pflanze Jahrhunderte empirischer Nutzung durchlaufen kann, um dann im Lichte der Biochemie und der modernen Pharmakologie neu bewertet zu werden. Die Distanz zwischen diesen beiden Ebenen ist wichtig und sollte gewahrt bleiben, da nur so überzogene Interpretationen oder durch Daten nicht gestützte Versprechen vermieden werden. Das Ergebnis ist eine fundiertere und nützlichere Lektüre für alle, die nach zuverlässigen Informationen suchen. Institutionelle Quellen und Übersichtsarbeiten bestätigen, dass die traditionelle Verwendung allein nicht ausreicht, um eine klinische Wirksamkeit zu definieren [1][3].

3. DIE SUPPLEMENTIERUNG MIT TRIBULUS TERRESTRIS

Um eine Supplementierung mit Tribulus terrestris zu bewerten, muss man verstehen, zu welchem Zweck sie eingesetzt wird. Auch der Gesundheitszustand der Person spielt eine Rolle. Studien deuten auf mögliche Auswirkungen auf das Wohlbefinden, die Sexualfunktion und die Regeneration hin. Bei gesunden Männern zeigt sich jedoch kein stabiler Anstieg des Testosteronspiegels (des wichtigsten männlichen Sexualhormons) [8][5][6][7].Das Produkt wirkt daher nicht über einen einzigen Mechanismus, der bei jedem Menschen gleich ist. Die Wirkungen können je nach Rezeptur, untersuchter Gruppe und anfänglichem Gesundheitszustand variieren. Es sollte daher als Phytokomplex mit mehreren möglichen Wirkungsweisen betrachtet werden. Es ist hingegen kein sicheres Mittel zur Steigerung des Hormonspiegels.Um sich zu orientieren, muss man zwischen klinischen Ergebnissen und Daten zu biologischen Mechanismen unterscheiden. Erstere beschreiben die bei Menschen beobachteten Effekte. Letztere helfen zu verstehen, wie solche Effekte

entstehen könnten. Der Phytokomplex wirkt nicht zwangsläufig bei jedem gleich. Die Reaktion kann von den Saponinen, der Qualität des Extrakts und anderen Körpersystemen abhängen.Diese Unterscheidung hilft, zu hohe Erwartungen zu vermeiden. Ein saponinreicher Extrakt mag vielversprechend sein, erzielt aber nicht bei jedem die gleiche Wirkung. Zudem ersetzt er bei erektiler Dysfunktion oder hormonellen Störungen nicht den Arztbesuch. Eine erektile Dysfunktion ist die anhaltende Schwierigkeit, eine Erektion zu bekommen oder aufrechtzuerhalten [9][7].Die Pflanze enthält zudem Diosgenin und Dioscin, zwei natürliche Substanzen mit verschiedenen möglichen biologischen Wirkungen. Ein in Studien beobachteter Nutzen beweist jedoch keinen sicheren Anstieg des Testosterons oder der sportlichen Leistung. Die Supplementierung sollte daher für präzise und realistische Ziele gewählt werden und nicht auf Basis von pauschalen Werbeslogans [1][2][3]. Die wichtigsten Punkte für eine bewusste Anwendung sind:

- Der Zusammenhang zwischen Supplementierung und Testosteron variiert in Humanstudien stark.
- Qualität und Zusammensetzung des Extrakts beeinflussen die Interpretation der Ergebnisse.
- Die wahrgenommenen Effekte auf Energie und Regeneration hängen nicht immer von Hormonen ab.
- Daten zur Sexualfunktion erfordern eine sorgfältige und vorsichtige Interpretation.

Bevor wir die praktischen Anwendungen untersuchen, ist es sinnvoll, die Fragen zu klären, die bei der Auswahl am häufigsten gestellt werden. Es kommt nicht nur darauf an, was Tribulus terrestris verspricht. Man muss verstehen, welche Wirkungen sich aus Studien am Menschen ergeben und inwieweit diese vom jeweiligen Extrakt abhängen.

3.1 Erhöht Tribulus terrestris den Testosteronspiegel oder nicht?

Viele Menschen glauben, dass Tribulus terrestris den Testosteronspiegel erhöht. Studien am Menschen zeigen jedoch keinen stabilen Effekt. Bei gesunden Männern bleiben die Hormonwerte während der Einnahme oft unverändert. Einige Studien berichten zwar von einem gesteigerten Wohlbefinden oder gewissen funktionellen Vorteilen. Diese Ergebnisse belegen jedoch keinen direkten Anstieg der Produktion männlicher Hormone. Mögliche Vorteile könnten daher auf anderen körpereigenen Mechanismen beruhen. Der Phytokomplex könnte sich auf den Gefäßtonus, die Regeneration oder das allgemeine Wohlbefinden auswirken. Er könnte auch den oxidativen Stress (Schäden durch hochreaktive Moleküle) beeinflussen. Diese Mechanismen sind nicht mit einer direkten Erhöhung des Testosterons gleichzusetzen und sollten nicht damit verwechselt werden. Selbst wenn eine Studie einen hormonellen Anstieg feststellt, ist dieser Wert nicht immer gesundheitlich relevant. Das Ergebnis kann je nach den beteiligten Personen, der Dauer der Studie und dem verwendeten Extrakt variieren. Auch der Ausgangszustand der Teilnehmer spielt eine Rolle. Ein in einer spezifischen Gruppe erhobener Wert lässt sich daher nicht automatisch auf alle übertragen. Es ist daher sinnvoll, zwischen einer Testosteronsteigerung und dem wahrgenommenen Nutzen zu unterscheiden. Ein Nahrungsergänzungsmittel kann bestimmte Symptome lindern, ohne direkt auf die Hormone einzuwirken. Diese Unterscheidung hilft dabei, die Erwartungen in Bezug auf Sport und Sexualität besser einzuschätzen. Zudem verhindert sie, das Produkt mit einer Hormontherapie zu verwechseln, die ganz anderen medizinischen Kriterien folgt. Insgesamt kann man nicht von einem „Testosteron-Booster“ sprechen, der bei jedem Mann wirkt. Der mögliche Wert des Produkts sollte in breiteren Ergebnissen gesucht werden, nicht in einem einzelnen Hormon. Diese Interpretation deckt sich mit einem Großteil der qualitativ hochwertigen Studien am Menschen. Offizielle Übersichten und Zusammenfassungen bestätigen, dass ein Anstieg des Testosterons kein gesichertes und allgemeingültiges Ergebnis ist [8][3][9].

3.2 Wie wichtig die Standardisierung des Tribulus-Extrakts ist

In Studien zu Tribulus terrestris können Produkte mit demselben Namen eine sehr unterschiedliche Zusammensetzung aufweisen. Die Dosis an Steroidsaponinen, das Verhältnis der Verbindungen zueinander und die Qualität des Rohmaterials variieren. Diese Unterschiede können die biologische Aktivität des Produkts verändern. Der bloße Name der

Pflanze reicht daher nicht aus, um zwei Nahrungsergänzungsmittel miteinander zu vergleichen. Ein titrierter Extrakt enthält eine deklarierte und überprüfbare Dosis eines oder mehrerer Wirkstoffe. Diese Angabe macht das Produkt nicht automatisch besser. Sie ermöglicht es jedoch, präziser zu wissen, was man einnimmt. Zudem hilft sie dabei, die Ergebnisse verschiedener Forschungsarbeiten strenger miteinander zu vergleichen. Die übrigen Bedingungen müssen dabei jedoch ähnlich sein. Der Vergleich wird ungenau, wenn in den Studien sehr unterschiedliche Extrakte, Dosierungen und Zeiträume verwendet werden. In solchen Fällen ist unklar, ob die Unterschiede auf die Pflanze oder auf das gewählte Produkt zurückzuführen sind. Auch die Dauer der Anwendung kann das Ergebnis beeinflussen. Um eine Forschungsarbeit korrekt interpretieren zu können, sind daher präzise Daten zur Rezeptur und deren Anwendung erforderlich. Die Standardisierung ist auch für die Sicherheit von Bedeutung. Unzureichend kontrollierte Produkte können Verunreinigungen, schwankende Dosierungen oder von den Angaben abweichende Mengen enthalten. Ein genau definierter Extrakt reduziert diese Unsicherheit. Er garantiert jedoch nicht allein die Wirksamkeit oder das Fehlen von Risiken. Er bietet vor allem eine klarere Grundlage, um das Produkt zu bewerten und mit den untersuchten Präparaten zu vergleichen. Um ein zuverlässiges Nahrungsergänzungsmittel auszuwählen, reicht es nicht aus, nach dem botanischen Namen auf dem Etikett zu suchen. Es ist hilfreich zu wissen, wie es hergestellt wurde und welche Verbindungen gemessen wurden. Diese Daten unterscheiden eine sorgfältig beschriebene Rezeptur von einem Produkt mit nur wenigen Informationen. Ohne eine gute Beschreibung verliert der Vergleich zwischen Studien an Wert. Auch die Schlussfolgerungen werden weniger fundiert. Die der Pflanze gewidmeten Übersichtsarbeiten bestätigen diese Einschränkung [3][9].

3.3 Tribulus terrestris für Energie, Vitalität und Erholung: Was Sie erwarten können

Viele Menschen verwenden Tribulus terrestris, um ihre Energie, Vitalität oder Erholung nach dem Sport zu steigern. Die Pflanze wird oft als Adaptogen beschrieben (eine Substanz, die dem Körper helfen soll, mit Stress umzugehen). Diese Vorstellung mag ihren Gebrauch erklären, doch die Studienergebnisse lassen sich nicht verallgemeinern. Die Wirkung hängt vom Verwendungszweck, dem Produkt und den Ausgangsbedingungen ab. In einigen klinischen Studien betreffen die interessantesten Anzeichen die Erholung und den körperlichen Stress. Die Forscher bewerteten biologische Marker, also messbare Werte im Körper. Diese Werte standen im Zusammenhang mit Ermüdung oder Gewebeschäden. Die Daten deuten jedoch nicht zwangsläufig auf mehr Kraft, Muskelmasse oder eine bessere Leistung hin. Ein geringeres Anzeichen von körperlichem Stress entspricht nicht immer einem offensichtlichen sportlichen Vorteil. Zudem muss man zwischen dem, was eine Person empfindet, und dem, was messbar ist, unterscheiden. Wahrgenommene Energie, Muskelschäden, Erholungszeiten und sportliche Leistung sind unterschiedliche Ergebnisse. Ein Nahrungsergänzungsmittel kann auf einen dieser Aspekte wirken, ohne die anderen zu beeinflussen. Daher erfordert die Frage „Funktioniert es?“ immer ein klares Ziel und eine geeignete Messmethode. Der Phytokomplex kann nützlich sein, wenn eine Person Müdigkeit verspürt oder sich nicht vollständig erholt. Doch selbst in diesen Fällen bleibt die Wirkung ungewiss und kann geringfügig sein. Bei anderen Personen kann sie minimal oder gar nicht feststellbar sein. Die individuelle Reaktion spielt eine große Rolle. Es ist daher nicht korrekt, das Produkt als sicheres Mittel zur Steigerung der Energie zu bezeichnen. Seine mögliche Rolle ist die eines gezielten Hilfsmittels für spezifische Fälle und Zwecke. Es sollte jedoch nicht als universelles Mittel zur Leistungssteigerung dargestellt werden. Diese Unterscheidung verringert das Risiko, dass die Erwartungen die beobachteten Vorteile übersteigen. Sportstudien zeigen interessante Anzeichen. Sie reichen jedoch nicht aus, um die Ergebnisse auf alle Personen zu übertragen, die das Nahrungsergänzungsmittel verwenden [10][11][12][13].

4. DIE DURCH TRIBULUS TERRESTRIS BEHANDELTEN ERKRANKUNGEN

Tribulus terrestris ist kein Medikament, das für eine einzige Krankheit entwickelt wurde. Es handelt sich um einen Phytokomplex, also eine Kombination aus Wirkstoffen der Pflanze, die bei verschiedenen

klinischen Krankheitsbildern untersucht wurde. Die Forschung hat Symptome im Zusammenhang mit dem Verlangen, der Durchblutung und oxidativem Stress untersucht.Die Perfusion ist der Durchtritt von Blut durch die kleinen Gefäße, die Organe und Gewebe versorgen. Daher ist beim Sprechen über durch Tribulus terrestris behandelte Erkrankungen Vorsicht geboten. In vielen Fällen kann die Pflanze eine Unterstützung bieten, sie ersetzt jedoch keine medizinische Behandlung. Die Nachweise beim Menschen sind für Störungen im sexuellen Bereich am solidesten. In anderen Bereichen sind die Daten vorläufig oder stammen aus Studien an Zellen und Tieren [1][4][5][7].Bei der erektilen Dysfunktion deuten Studien und Übersichtsarbeiten auf Fortschritte bei einigen Aspekten der sexuellen Funktion hin. Das Signal betrifft vor allem Personen mit leichten oder mittelschweren Symptomen sowie Produkte mit bekannten Dosierungen [5][6][9][7].Für das weibliche Verlangen wurde in einer randomisierten Doppelblindstudie eine Dosis von 7,5 mg täglich über 4 Wochen verwendet. Weder die Frauen noch die Forscher wussten, wer das aktive Produkt erhielt. Die Studie umfasste 67 Frauen, von denen 60 den Studienverlauf abschlossen. Die Ergebnisse zeigten Fortschritte beim Gesamtscore und in einigen Bereichen der sexuellen Funktion [4].Für den Stoffwechsel deuten einige Studien auf mögliche Auswirkungen auf den Blutzucker und das Lipidprofil, also die Blutfette, hin. Die Nachweise reichen jedoch nicht aus, um zu behaupten, dass die Pflanze Diabetes heilt [2][3]. Insgesamt erscheint die Pflanze eher als gezielte Unterstützung denn als universelles Heilmittel glaubwürdig. Ihr klinischer Wert hängt vom Kontext, der Art des Extrakts und dem Zweck der Behandlung ab [1][7]. Um die Nachweise besser zu verstehen, ist es sinnvoll, sie nach dem untersuchten klinischen Bereich zu unterteilen. Dieser Vergleich zeigt, wo die Datenlage stabiler ist und wo sie noch schwach bleibt:

- Die erektile Dysfunktion zeigt das konsistenteste klinische Signal.
- Das weibliche sexuelle Verlangen weist vielversprechende, aber noch begrenzte Daten auf.
- Die Blutzuckerkontrolle deutet auf eine mögliche unterstützende Rolle hin.
- Einige Studien an Zellen und Tieren untersuchen Entzündungen und oxidativen Stress.

Die konkretesten klinischen Belege betreffen den sexuellen Bereich. Für andere Beschwerden sind die Daten hingegen noch vorläufig. Die folgenden vier Bereiche zeigen die glaubwürdigsten Anwendungen von Tribulus terrestris sowie diejenigen, bei denen mehr Vorsicht geboten ist.

4.1 Tribulus terrestris bei erektiler Dysfunktion: Was sagen die Studien?

Die erektile Dysfunktion ist die Erkrankung, für die es die beste Studienlage am Menschen für Tribulus terrestris gibt. Die Daten deuten auf Fortschritte in einigen Aspekten der sexuellen Funktion hin. Dieses Signal zeigt sich vor allem bei standardisierten Extrakten sowie in Fällen von leichter bis mittelschwerer Dysfunktion. Der beobachtete Nutzen scheint nicht von einem konstanten Anstieg des Testosteronspiegels abzuhängen. Dieses Hormon ist der wichtigste männliche Sexualregulator. Die möglichen Wirkungen betreffen hingegen die Gefäße, die Mikrozirkulation, den oxidativen Stress und das allgemeine sexuelle Wohlbefinden. Die Mikrozirkulation ist das Netzwerk aus kleinen Gefäßen, das Gewebe mit Sauerstoff und Nährstoffen versorgt. Diese Erkenntnis verlagert den Fokus von der alleinigen Rolle der Hormone hin zur Bedeutung der Gefäße und der sexuellen Funktion. Tribulus sollte daher nicht als Ersatz für Standardtherapien betrachtet werden. Es kann jedoch in ausgewählten Fällen eine mögliche ergänzende Unterstützung darstellen. Die Ergebnisse sind nicht einheitlich, da Dauer, Dosierung und das Profil der Teilnehmer zwischen den Studien variieren. Der Beobachtungszeitraum gibt an, wie lange die Forscher das Produkt verabreicht haben. Das Teilnehmerprofil umfasst Alter, Schweregrad der Symptome und andere klinische Bedingungen. Die Forschung muss daher klären, welche Patienten profitieren können und welche Ergebnisse gemessen werden sollten. Zudem müssen die Grenzen der derzeit verfügbaren Nachweise besser definiert werden. Dies ist eines der klinisch fundiertesten Themen im Gesamtbild. Es ist auch einer der Bereiche, die bei den Lesern auf das größte Interesse stoßen. Der Wert der Pflanze liegt nicht im Versprechen einer Wunderwirkung. Er liegt in der Möglichkeit, sorgfältig ausgewählten Personen eine zusätzliche Hilfe anzubieten. Es bleibt jedoch unerlässlich, zwischen einer Unterstützung und einer

Therapie zu unterscheiden, da diese beiden Rollen unterschiedlich sind. Diese Unterscheidung ermöglicht es, die Studien zu Tribulus und zur erektilen Funktion korrekt zu interpretieren. Die randomisierte Studie und die aktuelle klinische Übersichtsarbeit zeigen ein positives Signal. Dies reicht jedoch nicht aus, um etablierte Behandlungen zu ersetzen [5][9][6].

4.2 Tribulus terrestris und hypoaktive sexuelle Luststörung bei Frauen

Tribulus terrestris wurde auch im Hinblick auf das weibliche sexuelle Verlangen untersucht. Die Forschung konzentrierte sich dabei vor allem auf die hypoaktive sexuelle Luststörung. In diesem Fall messen die Studien nicht nur eine einzelne körperliche Reaktion. Sie bewerten das sexuelle Erleben als Ganzes: Verlangen, Erregung, Lubrikation, Befriedigung und Komfort. Die Lubrikation ist die Produktion von Vaginalsekret, das die Reibung verringert und den Geschlechtsverkehr erleichtert. Klinische Studien deuten auf mögliche Fortschritte in einigen dieser Bereiche hin, insbesondere beim Verlangen. Im Allgemeinen wurde das Produkt von den Teilnehmerinnen gut vertragen. Die Studien umfassen jedoch nur wenige Probanden und die Versuche dauern oft nur über begrenzte Zeiträume an. Es ist daher korrekt, von einem vielversprechenden Signal zu sprechen, nicht von einer endgültigen Schlussfolgerung. Auf biologischer Ebene vermuten die Autoren Auswirkungen auf die Hypothalamus-Hypophysen-Gonaden-Achse. Dieser Regelkreis steuert die Produktion bestimmter Sexualhormone. Sie vermuten auch Auswirkungen auf einige hormonelle Prozesse und die Durchblutung. Diese Mechanismen sind jedoch weniger klar als die bei der männlichen erektilen Dysfunktion untersuchten. Diese Betrachtung trägt einem starken Interesse Rechnung, vermeidet jedoch einen häufigen Fehler. Die bei Männern gesammelten Daten können nicht direkt auf Frauen übertragen werden. Tribulus ist keine universelle Lösung, sondern eine mögliche Hilfe in einem Bereich, der noch erforscht wird. Vorsicht ist geboten, da die weibliche Sexualität von vielen Faktoren abhängt. Dazu gehören hormonelle, affektive, psychologische und durchblutungsbedingte Faktoren. Eine Betrachtung, die nur auf einer einzigen Ursache basiert, wäre daher irreführend. Sollten solidere Studien die Wirkungen bestätigen, könnte die Pflanze in gezielte Behandlungswege aufgenommen werden. Sie sollte jedoch keine korrekte klinische Beurteilung ersetzen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse zwar Interesse wecken, aber noch keine Gewissheit bieten. Studien an Frauen in den Wechseljahren und mit weiblicher sexueller Dysfunktion deuten auf Vorteile hin. Die Protokolle sind unterschiedlich, haben aber interessante klinische Ergebnisse geliefert [4][14][15].

4.3 Tribulus terrestris und Blutzucker: Daten zu Diabetes und Stoffwechsel

Einige Studien haben *Tribulus terrestris* bei Bevölkerungsgruppen mit Diabetes oder Stoffwechselstörungen untersucht und dabei Verbesserungen des Blutzuckerspiegels sowie in einigen Fällen der Lipidwerte beobachtet. Der Blutzuckerspiegel ist die Konzentration von Glukose im Blut, während die Lipidwerte die Menge an zirkulierendem Cholesterin und Triglyzeriden beschreiben. Dies bedeutet nicht, dass Tribulus eine antidiabetische Therapie darstellt, sondern dass es in einem komplexen metabolischen Kontext als ergänzende Unterstützung wirken könnte. Die plausibelste Hypothese betrifft eine Wirkung auf oxidativen Stress, Entzündungen und die Reaktion der Zellen auf Insulin, mit möglichen Auswirkungen auf den Glukosestoffwechsel. Es ist wichtig, eine klare Unterscheidung zwischen vorläufigen Ergebnissen und etablierter klinischer Anwendung zu treffen: Die Daten reichen noch nicht aus, um Ernährung, Bewegung, Medikamente oder ärztliche Überwachung zu ersetzen. Dennoch macht die Erfassung von Nüchternblutzucker, postprandialem Blutzucker und HbA1c, das die durchschnittliche Blutzuckerkontrolle der vorangegangenen Monate widerspiegelt, das Thema sowohl für den Leser als auch für die wissenschaftliche Forschung relevant. Dieser Ansatz trifft auch auf das Interesse derjenigen, die nach Nahrungsergänzungsmitteln für den Stoffwechsel suchen, sollte jedoch mit Vorsicht behandelt werden, um überzogene Versprechungen zu vermeiden. Die korrekte Botschaft lautet, dass es ein interessantes wissenschaftliches Signal gibt, aber keine endgültige Bestätigung einer therapeutischen Wirksamkeit. Tribulus ist in diesem Bereich als mögliches

biologisches Adjuvans zu betrachten und nicht als Ersatz für den klinischen Standardweg. Ein etwaiger Nutzen ist daher im Rahmen einer umfassenden Strategie zur Stoffwechselkontrolle zu interpretieren und nicht als eigenständige Lösung. Für den Leser ist die ehrlichste Schlussfolgerung, dass die Daten zwar anregend, aber noch nicht ausreichend sind, um die klinische Praxis zu verändern. Die stärksten Beobachtungen stammen weiterhin aus präklinischen Studien und Übersichtsarbeiten und reichen noch nicht aus, um einen gesicherten metabolischen Nutzen beim Menschen zu definieren [2][3].

4.4 Tribulus terrestris und die männliche reproduktive Gesundheit jenseits von Testosteron

Im Bereich der männlichen reproduktiven Gesundheit wird *Tribulus terrestris* fast immer mit Testosteron in Verbindung gebracht. Einige klinische Studien und Übersichten haben jedoch interessantere Anhaltspunkte für andere Parameter geliefert. Dazu gehören die Spermienmotilität, die Spermienkonzentration und die erektile Funktion. Ein Anstieg der Androgene, also der männlichen Sexualhormone, scheint hingegen weniger konstant zu sein. Die Spermienmotilität beschreibt die Fähigkeit der Spermien, sich effektiv fortzubewegen. Die Konzentration gibt an, wie viele Spermien in einem bestimmten Volumen der Samenflüssigkeit vorhanden sind.Dieser Perspektivwechsel hilft dabei, die Fortpflanzungsfunktion als Ganzes zu bewerten. Zudem vermeidet er es, *Tribulus* lediglich als ein Produkt darzustellen, das den Hormonspiegel erhöht. Zu den vermuteten Wirkmechanismen gehören Effekte auf die Mikrozirkulation und eine mögliche Unterstützung gegen oxidativen Stress. Sie umfassen auch einen möglichen Einfluss auf die Steroidogenese, also den Prozess, bei dem Steroidhormone produziert werden. Die Belege reichen jedoch noch nicht aus, um fundierte Schlussfolgerungen zu ziehen.Viele Menschen suchen nach Mitteln für die Fruchtbarkeit, das sexuelle Verlangen oder die Qualität der Samenflüssigkeit. Sie suchen also nicht nur nach Produkten, die mit Testosteron in Verbindung stehen. Es ist notwendig, zwischen dem, was als vielversprechend bezeichnet werden kann, und dem, was noch ungewiss ist, zu unterscheiden. *Tribulus* kann im Bereich der Reproduktionsmedizin untersucht werden, erfordert jedoch eine umfassende und vorsichtige Darstellung. Diese Vorsicht fehlt oft in den online verbreiteten Inhalten.Die männliche reproduktive Gesundheit umfasst Hormone, Spermienqualität, Gewebeperfusion und das allgemeine Wohlbefinden. Der Phytokomplex könnte auf einige dieser Punkte einwirken, jedoch nicht auf alle in gleicher Weise. Das Thema ist daher interessant, bleibt aber schwierig zu untersuchen und zu kommunizieren. Die treffendste Interpretation ist die eines möglichen Unterstützungsmittels, das auf mehrere Faktoren einwirkt. Diese Rolle ist jedoch noch weit von einer vollständigen Bestätigung entfernt. Die einzige direkte Studie zur idiopathischen männlichen Infertilität konnte keinen überzeugenden klinischen Nutzen feststellen [16]. Als idiopathische Infertilität bezeichnet man eine Unfruchtbarkeit, für die keine Ursache identifiziert werden kann.

5. TRIBULUS UND MTOR

Bei Tribulus terrestris spielt mTOR eine wichtige Rolle, da es Signale in Bezug auf Nahrung, Energie und Wachstum integriert. Der Name steht für den mechanistischen Zielpunkt von Rapamycin (mechanistic Target of Rapamycin), also den Punkt, an dem dieses Medikament ansetzt. Vereinfacht gesagt hilft dieser Signalweg der Zelle dabei, ihre verfügbaren Ressourcen zu nutzen. Bleibt er zu aktiv, kann dies die Fettsynthese fördern und die Autophagie hemmen. Letztere ist der Prozess, bei dem die Zelle defekte oder nicht mehr benötigte Bestandteile recycelt.Einige Substanzen aus dem Phytokomplex von Tribulus terrestris, wie Diosgenin und Dioscin, können das Signal stabilisieren. Der Phytokomplex bezeichnet die Gesamtheit der in der Pflanze enthaltenen Wirkstoffe. Die Daten stammen jedoch aus Modellen, die in der Forschung verwendet werden. Sie deuten auf eine mögliche Wirkung an einem zentralen Knotenpunkt der Zelle hin, nicht auf einen bereits klinisch belegten Effekt.Unter den am besten untersuchten Substanzen konnte Diosgenin in verschiedenen experimentellen Modellen die Stoffwechselbelastung reduzieren. Dioscin wurde mit der Kontrolle der AMPK-mTOR-Achse in Verbindung gebracht. Diese Achse verbindet den Energiesensor mit den Signalen, die das Zellwachstum regulieren. In Tests förderte sie zudem die Erholung der Prozesse, die die Zelle zur Anpassung nutzt

[17,18,19,20,21,22,23].Das bedeutet nicht, dass mTOR immer abgeschaltet sein sollte. Eine dauerhaft hohe Aktivität kann jedoch bei einigen Erkrankungen Schäden verursachen. Aus diesem Grund untersuchen Forscher die Pflanze im Zusammenhang mit Steatose, Entzündungen und Autoimmunmodellen. Die Daten sind jedoch vorwiegend präklinisch, das heißt, sie wurden an Zellen oder Tieren gewonnen. Sie bieten eine biologische Grundlage, weisen aber noch nicht auf eine klinische Anwendung beim Menschen hin [24,25,26,27]. Diese Betrachtungsweise verknüpft die Pflanze klarer mit Stoffwechsel- und Entzündungsprozessen. Insbesondere hilft sie zu verstehen, wie Steroidsaponine innerhalb der Zellen wirken können:

- Steroidsaponine können zu starke Wachstumssignale bremsen.
- Die Kontrolle von mTOR kann auch die Autophagie der Zelle beeinflussen.
- Die Wirkung kann je nach Gewebeart variieren.
- Die einzelnen Wirkstoffe scheinen eine größere Rolle zu spielen als der Extrakt als Ganzes.

Um die Rolle von Tribulus in diesem Signalweg zu verstehen, muss man bei den Substanzen ansetzen, die ihn regulieren können. Tests zeigen zudem, wann mTOR zu einem zentralen Knotenpunkt für den Stoffwechsel wird.

5.1 Was ist der mTOR-Signalweg und warum ist er für den Stoffwechsel und das Zellwachstum wichtig?

mTOR ist einer der wichtigsten Signalwege, die den Zellstoffwechsel regulieren. Ein Signalweg ist eine Kette biochemischer Nachrichten, die innerhalb der Zelle übertragen werden. Diese Nachrichten geben an, ob die Zelle über Nahrung, Energie und Wachstumsreize verfügt. Basierend auf diesen Daten kann mTOR das Wachstum und die Proteinsynthese fördern. Es kann auch die Proliferation unterstützen, also die Zunahme der Zellzahl. Wenn die Ressourcen hingegen abnehmen, muss die Zelle weniger Energie verbrauchen und sich anpassen. Bleibt der Signalweg zu lange überaktiv, kann dies verschiedene Ungleichgewichte begünstigen. Dazu gehören Lipogenese, Entzündungen, Insulinresistenz und Defekte der Autophagie. Die Lipogenese ist der Prozess, bei dem der Körper Fette produziert. Insulinresistenz ist eine abgeschwächte Reaktion des Gewebes auf Insulin. Aus diesen Gründen wird mTOR bei Stoffwechsel- und Entzündungskrankheiten intensiv erforscht. In Tests an Stoffwechsel- und Immungewebe haben Diosgenin und Dioscin diesen Signalweg moduliert [28][18][19][21][23]. Diese Daten sind konkret, stammen jedoch aus experimentellen Modellen und belegen keine Vorteile beim Menschen. Sie helfen jedoch dabei, die Eigenschaften von Tribulus terrestris besser zu verstehen. Die Wirkung scheint nicht von einem vagen Effekt der gesamten Pflanze auszugehen. Sie kann von Substanzen abhängen, die an einem Knotenpunkt wirken, der vielen anderen Prozessen vorgeschaltet ist. Das Ergebnis variiert je nach Gewebe, Gesundheitszustand und Ernährungsweise. Deshalb führt die Kontrolle von mTOR nicht immer zum gleichen Ergebnis. Dieser Aspekt ist auch bei der Bewertung von Nahrungsergänzungsmitteln für den Stoffwechsel wichtig. Er erklärt zudem, warum einige Daten zur Pflanze und zu Entzündungen einem kohärenten biologischen Faden folgen. Der Leser kann so einen möglichen Mechanismus von einem Versprechen ohne Beweise unterscheiden. Diese Unterscheidung ist wesentlich, um den Phytokomplex richtig bewerten zu können.

5.2 Diosgenin und Dioscin: Wie die Saponine des Tribulus mTOR modulieren

Forschende untersuchen diese beiden Saponine häufig im Hinblick auf ihre mögliche Wirkung auf den mTOR-Signalweg. In verschiedenen Krankheitsmodellen konnten sie dessen Aktivität reduzieren und so das zelluläre Gleichgewicht stabilisieren [28][18][19][21][23]. Diese Daten deuten auf eine mögliche Wiederherstellung des Gleichgewichts hin und nicht auf eine bloße Blockade des Signalwegs. Die Tests befinden sich jedoch noch im präklinischen Stadium und belegen denselben Effekt beim Menschen bisher nicht. mTOR ist nämlich nicht absolut gut oder schlecht. Sie wird schädlich, wenn sie dauerhaft überaktiv bleibt, während die Zelle ihr Wachstum eigentlich drosseln sollte. In diesem Zustand erhöht sich die anabole Belastung, also der Antrieb zur Bildung neuer Moleküle und Gewebe. Gleichzeitig kann die Zelle ihre eigenen Abwehr- und Recyclingmechanismen weniger effizient nutzen. Die untersuchten Saponine scheinen das System in

Richtung einer besseren Homöostase zu lenken. Dieser Begriff beschreibt die Fähigkeit der Zelle, ihr inneres Milieu stabil zu halten. Diese Erkenntnis hilft auch zu verstehen, woraus die Wirkung eines Extrakts entstehen kann. Nicht alle Wirkungen hängen vom Phytokomplex als Ganzem ab. Einige können von ganz bestimmten Molekülen ausgehen, die in unterschiedlichen Konzentrationen vorhanden sind. Aus diesem Grund ist die Standardisierung von Produkten unerlässlich. Standardisierung bedeutet, die Menge der enthaltenen Schlüsselstoffe in jeder Dosis festzulegen. Zu wissen, dass ein Produkt Tribulus enthält, reicht daher nicht aus, um seine biologische Wirkung abzuschätzen. Man muss wissen, welche Saponine es enthält und in welcher Menge. Diese Sorgfalt ermöglicht einen besseren Vergleich von Daten und verschiedenen Extrakten. Sie erklärt auch das Interesse an Modellen für Fettleber, Entzündungen und Autoimmunerkrankungen. In diesen Bereichen wirken dieselben Signalwege in der Leber und im Immunsystem. Die Verbindung zwischen der Pflanzenchemie und den Körperfunktionen erscheint vielversprechend, erfordert jedoch noch klinische Studien.

5.3 Tribulus terrestris und Fettleber: die Verbindung zu mTOR/SREBP-1c

Die nicht-alkoholische Fettlebererkrankung ist ein nützliches Modell zur Untersuchung der Stoffwechselkontrolle. Sie bezeichnet eine Fettansammlung in der Leber ohne relevanten Alkoholkonsum. Bei diesem Zustand kann mTOR das Protein SREBP-1c übermäßig aktivieren. Dieser Transkriptionsfaktor aktiviert Gene, die die Fettsynthese steuern. Dadurch steigt die De-novo-Lipogenese, also die Produktion neuer Fette im Körper. Dieser Prozess kann die Triglyzeridmenge in der Leber erhöhen. In experimentellen Modellen hat Diosgenin die Lipogenese und einige Anzeichen von Leberschäden reduziert [18][21][23]. Die Tests zeigten zudem eine Verbesserung der Leberstruktur. Es handelt sich jedoch um präklinische Daten, die nicht belegen, dass die Pflanze eine Fettleber beim Menschen heilen kann. Die in den Tests beobachtete Wirkung scheint auf einer gemeinsamen Einwirkung auf mehrere Prozesse zu beruhen. Dazu gehören eine geringere Synthese und eine effizientere Nutzung von Fetten. Die Tests deuten auch auf die Wiederherstellung einiger Zellfunktionen hin, die zuvor beeinträchtigt waren. Die Verbindung zwischen mTOR und SREBP-1c verknüpft somit interne Signale mit der Fettansammlung. Diese Achse hilft zu verstehen, warum Forscher Tribulus über den sexuellen Bereich hinaus untersuchen. Die Pflanze könnte auf Signalwege einwirken, die auch an stoffwechselbedingten Entzündungen beteiligt sind. Derzeit kann sie jedoch nicht als Therapie für eine Fettleber angesehen werden. Eine mögliche praktische Anwendung erfordert solide klinische Studien am Menschen. Der vorgeschlagene Mechanismus steht im Einklang mit den heute verfügbaren Labordaten. Zudem verdeutlicht er, wie eine einzelne Substanz auf mehrere Phasen desselben Ungleichgewichts einwirken kann. Das Ergebnis ist daher für die Forschung nützlich, reicht aber nicht aus, um Behandlungsempfehlungen auszusprechen.

5.4 Tribulus terrestris und Autoimmunität: mTOR, Entzündung und Hashimoto-Thyreoiditis

Einige Tests deuten darauf hin, dass die Saponine der Pflanze auch auf Autoimmunprozesse einwirken können. Das Interesse gilt vor allem der Autoimmunthyreoiditis, auch bekannt als Hashimoto-Thyreoiditis. Bei dieser Erkrankung greift das Immunsystem irrtümlich die Schilddrüse an. mTOR reguliert auch, wie Immunzellen Energie nutzen. Bleibt es zu aktiv, kann dies Entzündungen und den Angriff auf das Gewebe über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten. In Tiermodellen konnte Dioscin Autoantikörper reduzieren und die Struktur der Schilddrüse verbessern [19][20]. Autoantikörper sind Proteine, die fälschlicherweise körpereigene Strukturen angreifen. Das Ergebnis deutet auf eine verringerte Aktivität des Immunsystems gegen die Drüse hin. Dies beweist jedoch nicht, dass die Verbindung die Hashimoto-Thyreoiditis beim Menschen heilt. Der mögliche Mechanismus betrifft die Wiederherstellung des Gleichgewichts im Stoffwechsel der Immunzellen über mTOR. Dies ist eine nützliche Grundlage für neue Studien, aber noch keine bewährte Heilmethode. Diese Erkenntnis ist für diejenigen relevant, die nach Belegen für Nahrungsergänzungsmittel bei Autoimmunerkrankungen suchen. Die verfügbaren Nachweise stützen derzeit noch keine klinische

Empfehlung. Sie zeigen jedoch, dass der Phytokomplex in den verwendeten Modellen auf Immun- und Entzündungssignale einwirken kann. Das Interesse an der Pflanze geht somit über den rein sexuellen oder metabolischen Bereich hinaus. Gleichzeitig wirft es neue Fragen zur Dosierung, zur Darreichungsform und zur Sicherheit der Extrakte auf. Es bedarf fundierter Studien am Menschen, um zu verstehen, ob diese Effekte einen tatsächlichen Nutzen haben. Bis dahin bleibt das beobachtete Signal zwar konsistent, ist aber noch weit von einer klinischen Anwendung entfernt. In diesem Fall mindert Vorsicht nicht den Wert der Daten. Sie ermöglicht es vielmehr, eine gute biologische Hypothese von einer bewährten Behandlung zu unterscheiden.

6. TRIBULUS UND AMPK

In der Biologie von Tribulus terrestris ist AMPK von Interesse, da es den Energiestatus der Zelle misst. Wenn die Energie sinkt, fördert diese Kinase die Anpassung und begrenzt Aktivitäten, die viele Ressourcen verbrauchen. Eine Kinase ist ein Enzym, das Phosphatgruppen überträgt und die Aktivität anderer Proteine reguliert. Auf diese Weise kann AMPK den Fettstoffwechsel, das zelluläre Recycling und die Stressreaktion beeinflussen. In experimentellen Modellen zum Phytokomplex von Tribulus erscheint dieser Signalweg häufig als mögliche Brücke. Der Phytokomplex ist die Gesamtheit der in der Pflanze enthaltenen Substanzen, die koordiniert wirken können. AMPK kann somit die chemische Zusammensetzung der Pflanze mit den in verschiedenen Geweben beobachteten Wirkungen verknüpfen. Das Thema betrifft nicht einfach einen „Stoffwechselreiz“, sondern eine feinere Kontrolle der zellulären Homöostase. Die Homöostase ist die Fähigkeit der Zelle, ihr inneres Gleichgewicht stabil zu halten.In experimentellen Modellen ist AMPK vor allem dann von Bedeutung, wenn gleichzeitig Fettansammlungen, Entzündungen und oxidativer Stress auftreten. Oxidativer Stress ist ein Überschuss an reaktiven Spezies, die Zellen und Gewebe schädigen. Insbesondere die Daten zu Diosgenin zeigen konsistente Veränderungen in verschiedenen Stoffwechselwegen. Diese Veränderungen verringern die Neigung zur Fetteinlagerung und verbessern die Anpassung sowie die Bewältigung von Zellschäden [28][21][23].Studien zu anderen Tribulus-Derivaten deuten auf mögliche Wirkungen auch in Geweben hin, die viel Energie verbrauchen. Dazu gehört das Nervensystem, wo AMPK mit Signalen interagiert, die den Zellen helfen, Stress zu widerstehen und vital zu bleiben [29][30]. Dies bedeutet nicht, dass Tribulus eine Therapie ist, weist aber auf eine beachtenswerte Aktivität hin. Diese Aktivität betrifft tatsächlich einen zentralen Kontrollschaltkreis und keinen generischen, ziellosen Effekt. Die nützliche Erkenntnis betrifft daher die biologische Begründung, die sich aus den verfügbaren Studien ergibt. Das Verständnis von AMPK hilft dabei, einen plausiblen Effekt von einem übertriebenen Versprechen zu unterscheiden. Um diesen Teil gut zu verstehen, ist es sinnvoll, einige Schlüsselpunkte zu beachten:

- AMPK lenkt die Zelle hin zu einer effizienteren Nutzung der verfügbaren Energie.
- Der Fettstoffwechsel verändert sich, wenn die Phosphorylierung von AMPK zunimmt. Die Phosphorylierung fügt eine Phosphatgruppe hinzu und verändert die Aktivität des Proteins.
- Autophagie und zelluläres Recycling hängen vom Verhältnis zwischen AMPK und mTOR ab. mTOR ist das mechanistische Ziel der Rapamycin-Wirkung, ein Protein, das diese Prozesse bremst.
- Einige Saponine aus Tribulus scheinen auch antioxidative Signalwege einzubeziehen. Diese Systeme begrenzen die durch freie Radikale verursachten Schäden.
- Die wissenschaftliche Begründung stützt sich vor allem auf präklinische Studien und erfordert daher Vorsicht.

Um AMPK zu verstehen, muss man bei seiner Rolle als Energiesensor ansetzen und seine Auswirkungen im Gewebe verfolgen. Die folgenden Abschnitte erläutern, was Studien zur Fettverwertung, zum zellulären Recycling und zu Entzündungsprozessen zeigen. Der Kontext bleibt experimentell und belegt keinen klinischen Nutzen beim Menschen.

6.1 AMPK: Der Energiesensor, der den Zellstoffwechsel steuert

AMPK ist eine Kinase, die aktiviert wird, wenn die zelluläre Energie abnimmt und das AMP/ATP-Verhältnis – also das Verhältnis zwischen

zwei Molekülen, die den Energiestatus widerspiegeln – einen Ressourcenmangel anzeigt. In diesem Moment muss die Zelle energieaufwendige Aktivitäten reduzieren und Anpassungsprozesse fördern, wie etwa die Fettverbrennung, das Recycling beschädigter Strukturen und die Eindämmung von Entzündungen. Dies macht AMPK zu einem strategischen Regulator bei vielen Stoffwechselerkrankungen. Im Zusammenhang mit Tribulus terrestris ist dies von Bedeutung, da bestimmte Saponine genau diesen Sensor zu aktivieren scheinen und das Gleichgewicht in Richtung einer effizienteren Energienutzung verschieben.Die Relevanz ist nicht nur biochemischer Natur: Die Erläuterung von AMPK hilft zu verstehen, warum die Pflanze in Modellen für Fettleber, Diabetes, Nierenschäden und systemische Entzündungen untersucht wurde. Ihre Funktion besteht nicht darin, den Stoffwechsel allgemein anzukurbeln, sondern eine koordinierte Reaktion auf Energiemangel zu orchestrieren. Deshalb ist AMPK ein wesentlicher Knotenpunkt in der wissenschaftlichen Betrachtung von Tribulus. Hier liegt die Grundlage, um die nachfolgenden Wirkungen zu interpretieren und eine physiologische Modulation von einem bloßen kommerziellen Versprechen zu unterscheiden. Zudem wird deutlich, warum derselbe Signalweg in verschiedenen Geweben nützlich sein kann, jedoch je nach biologischem Kontext zu unterschiedlichen Ergebnissen führt.Für den Leser bedeutet dies, dass Tribulus nicht als generischer Aktivator betrachtet werden sollte, sondern als potenzieller Modulator eines sehr ausgeklügelten Kontrollsystems. Diese Unterscheidung ist der erste Schritt, um die folgenden Effekte korrekt einzuordnen. Die Achse ist biologisch vor allem in den Stoffwechsel- und Entzündungsmodellen relevant, in denen die Saponine eine Aktivität gezeigt haben [28][20][21][22].

6.2 Tribulus terrestris und Lipidstoffwechsel: die AMPK-ACC-CPT1A-Achse

Im Fettstoffwechsel reduziert AMPK die Synthese neuer Fette und erhöht die Nutzung der bereits verfügbaren. In experimentellen Modellen mit Diosgenin erhöht sich die Phosphorylierung von AMPK und dessen Zielmolekül ACC. ACC steht für Acetyl-CoA-Carboxylase, ein Enzym, das an der Fettsäuresynthese beteiligt ist. Infolgedessen sinkt der Spiegel von Malonyl-CoA, einem Molekül, das den Eintritt von Fetten in die Mitochondrien behindert. Mitochondrien sind die Zellstrukturen, die einen Großteil der von der Zelle benötigten Energie produzieren. Die Reduzierung von Malonyl-CoA erleichtert den Zugang der Fette über CPT1A, die Carnitin-Palmitoyltransferase 1A. Dieses Enzym fördert den Transport von Fettsäuren in das Innere der Mitochondrien. Mit anderen Worten: Die Zelle wechselt von einer Speicherphase in eine Verbrauchsphase.Dieser Mechanismus trägt dazu bei, die in einigen Modellen von Steatose beobachtete Fettreduktion zu erklären. Steatose ist eine übermäßige Fettansammlung in der Leber. Der entscheidende Punkt betrifft nicht nur den Endeffekt, sondern auch den beteiligten biochemischen Signalweg. Dieser Weg umfasst eine geringere Lipogenese und eine verstärkte β-Oxidation, also den Abbau von Fettsäuren. Insgesamt können diese Veränderungen die Energienutzung in der Zelle effizienter gestalten. Dieser Schritt verdeutlicht den möglichen Zusammenhang zwischen Tribulus und dem Fettstoffwechsel. Er zeigt auch, dass der Phytokomplex nicht unspezifisch auf das Körpergewicht wirkt. Die Veränderung des Fettstoffwechsels erfordert vielmehr einen präzisen biologischen Kontext.Darüber hinaus stammen die verfügbaren Daten hauptsächlich aus präklinischen Modellen und nicht aus klinischen Studien. Diese Vorsicht verhindert eine Überschätzung der Ergebnisse und hilft dabei, die nutrazeutische Rolle der Pflanze zu definieren. Es handelt sich also nicht um einen direkten, beim Menschen nachgewiesenen Schlankheitseffekt. Stattdessen wird eine mögliche Wirkung auf die Prozesse beobachtet, die die Fettverwertung regulieren. Diese Unterscheidung macht die Interpretation der Nachweise fundierter und den Umgang mit den Informationen realistischer. In Modellen mit Diosgenin erweist sich diese Stoffwechselachse als eine der solidesten [28][21][23].

6.3 Tribulus terrestris, Autophagie und Mitophagie: Die Rolle der AMPK-mTOR-Achse

Autophagie und Mitophagie ermöglichen es der Zelle, beschädigte Bestandteile zu beseitigen und wiederzuverwerten. Während die Autophagie

verschiedene interne Komponenten recycelt, wirkt die Mitophagie gezielt auf die Mitochondrien. Diese Prozesse werden besonders wichtig, wenn es an Energie mangelt oder zelluläre Strukturen nicht ordnungsgemäß funktionieren. AMPK fördert diese Vorgänge, während mTOR sie eher hemmt. Das Verhältnis zwischen diesen beiden Proteinen ist daher von zentraler Bedeutung für das Gleichgewicht der Zelle. In experimentellen Modellen aktivierte Dioscin AMPK und reduzierte die Aktivität von mTOR. Diese Veränderungen waren mit einer Wiederherstellung der Autophagie und in einigen Geweben auch der Mitophagie verbunden.Diese Erkenntnisse beziehen sich vor allem auf experimentelle Modelle von Nierenschäden oder stoffwechselbedingten Erkrankungen. In solchen Fällen kann die Beseitigung beschädigter Teile der Zelle helfen, ihre Effizienz wiederzuerlangen. Das Recycling kann zudem eine effektivere Nutzung der verfügbaren Energie ermöglichen. Der Mechanismus verknüpft somit ein molekulares Signal mit einer konkreten Wirkung in der Zelle. Diese Wirkung besteht darin, Schäden abzubauen und die Homöostase, also das innere Gleichgewicht, zu schützen. Diese mögliche Wirkungsweise macht die Pflanze für Studien zum Stoffwechsel und zu Entzündungsprozessen interessant. Die Ergebnisse stammen jedoch überwiegend aus experimentellen Modellen und belegen keine klinische Wirksamkeit beim Menschen. Die Verbindung könnte zwar ein effizienteres zelluläres Umfeld fördern, macht sie jedoch nicht zu einer Therapie. Der Zusammenhang mit Nierenschäden und der Funktion der Mitochondrien geht vor allem aus den zitierten Studien hervor [22].

6.4 Tribulus terrestris und metabolische Entzündung: AMPK, Nrf2 und NF-kB

Die metabolische Entzündung ist eines der Gebiete, auf denen die AMPK-Achse von Tribulus besonders interessant erscheint. In experimentellen Modellen konnte Dioscin proinflammatorische Zytokine reduzieren und antioxidative Systeme aktivieren. Proinflammatorische Zytokine sind Moleküle, die die Entzündungsreaktion verstärken und aufrechterhalten. Die Ergebnisse deuten daher auf eine mögliche Eindämmung der Entzündung in den beobachteten Modellen hin. Der entscheidende Verbindungspunkt ist AMPK, das in vielen Modellen mit der Aktivierung von Nrf2 assoziiert ist. Nrf2 ist ein Transkriptionsfaktor, der die Abwehr gegen oxidativen Stress stärkt. Ein Transkriptionsfaktor reguliert die Aktivität von Genen und damit die Produktion spezifischer Proteine. AMPK ist zudem mit der Blockade proinflammatorischer Signalwege wie NF-kB verbunden. NF-kB ist ein Proteinkomplex, der die Aktivität von Genen fördert, die mit Entzündungen in Zusammenhang stehen.Der Phytokomplex könnte also mehr bewirken, als nur die Entzündungsreaktion direkt zu begrenzen. Er könnte auch ein zelluläres Umfeld fördern, das auf Redox- und Immunebene stabiler ist. Das Redox-Gleichgewicht beschreibt das Verhältnis zwischen oxidativen Prozessen und antioxidativen Abwehrmechanismen. Dieses Thema ist von Bedeutung, da viele untersuchte Erkrankungen eine chronische Entzündungskomponente aufweisen. Zu diesen Erkrankungen zählen Fettleber, Diabetes und Nierenschäden. Aus dieser Perspektive moduliert Tribulus biologische Netzwerke und wirkt nicht als einfaches Antiphlogistikum. Dieser Aspekt verbindet die molekulare Forschung mit möglichen Anwendungen im Bereich der Nutrazeutika.Dennoch ist Vorsicht geboten, da ein Nutzen bei Tieren keinen therapeutischen Effekt beim Menschen beweist. Die Ergebnisse bieten jedoch eine plausible wissenschaftliche Begründung für die Durchführung weiterer klinischer Studien. Die entzündungshemmenden und antioxidativen Signalwege sind somit Teil der untersuchten Biologie von Tribulus. Die Kenntnis dieser Signalwege hilft zu verstehen, warum die Pflanze in vielen Kontexten untersucht wird. Die Interpretation muss jedoch vorsichtig bleiben und sich auf die verfügbaren Belege stützen, insbesondere bei der praktischen Anwendung. Auch in diesem Fall stammen die Hinweise vor allem aus präklinischen Studien [20][22].

7. DAS NERVENSYSTEM UND TRIBULUS TERRESTRIS

Im neurologischen Bereich geht es nicht um eine allgemeine und vermeintliche „stimulierende“ Wirkung. Vielmehr steht der Phytokomplex im Mittelpunkt, also die Gesamtheit der in der Pflanze enthaltenen Wirkstoffe. Diese Substanzen könnten auf Prozesse einwirken, die das Nervengewebe anfälliger für Schäden machen. In experimentellen

Modellen zeigten Extrakte und Fraktionen der Pflanze Anzeichen für einen Schutz der Nervenzellen. Diese Wirkung betrifft den oxidativen Stress, der durch reaktive Moleküle verursacht wird, die Zellen schädigen können. Sie umfasst auch bestimmte Entzündungswege, die zum Leiden der Neuronen beitragen können [29,31,32].Dieses Bild ist plausibel, da das Gehirn viel Energie verbraucht und viele freie Radikale produziert. Zudem erfordert es ein sehr feines Gleichgewicht zwischen Aktivierung und Schutz. In diesem Zusammenhang untersuchen Forscher Tribulus als Regulator zellulärer Prozesse. Sie betrachten es nicht als eine bereits am Menschen erprobte neurologische Behandlung.Das Nervensystem reagiert nicht auf einen einzigen Schalter, sondern nutzt vernetzte Signalwege. Aus diesem Grund bewerten einige Studien die Bestandteile von Tribulus terrestris an verschiedenen biologischen Zielstrukturen. Dazu gehören Mediatoren der neuronalen Erregbarkeit und Systeme, die die Zellen vor Oxidation schützen. Die Studien untersuchen auch die intrazellulären Signalwege, also die Signale, die innerhalb der Zelle wirken. Diese Wege können das Schicksal der Zelle selbst sowie ihre Fähigkeit, am Leben zu bleiben und zu funktionieren, beeinflussen [29,33,34,35].In der Zwischenzeit deuten Verhaltensstudien auf mögliche Auswirkungen auf Angst, Wachsamkeit und Stressreaktionen hin. Auch diese Daten stammen aus experimentellen Modellen und haben klare Grenzen für die klinische Anwendung [31,32]. Es ist daher korrekt, sie als Anzeichen für ein mögliches Interesse für das Nervensystem zu betrachten. Sie helfen auch zu verstehen, warum die Forschung die Pflanze über ihre bekanntesten Anwendungen hinaus untersucht. Sie belegen jedoch keine bereits beim Menschen bestätigten neurologischen Vorteile. Um die nächsten Schritte zu verstehen, ist es nützlich, die wichtigsten Ergebnisse im Auge zu behalten:

- die Verringerung von Markern für oxidative Schäden in experimentellen neuronalen Modellen.
- die Veränderung von Signalen, die mit der Fähigkeit der Nervenzellen zusammenhängen, am Leben zu bleiben und zu funktionieren.
- die Wirkung auf die Schaltkreise, die die Gehirnaktivierung mit dem Verhalten verbinden.
- die mögliche Rolle der Steroidsaponine aus Tribulus, natürlichen Verbindungen, die einigen Steroidhormonen ähneln.

Gehen wir nun von den allgemeinen Mechanismen zu den möglichen Auswirkungen auf das Gehirn und seine Schaltkreise über. Die Studien befassen sich mit oxidativem Stress, Entzündungen, dopaminergen Neuronen, Gedächtnis und Verhalten.

7.1 Tribulus terrestris und neuronaler oxidativer Stress

Oxidativer Stress ist einer der häufigsten Prozesse, die an der Schädigung von Neuronen beteiligt sind. Diese Zellen reagieren sehr empfindlich auf reaktive Sauerstoffspezies, instabile und potenziell schädliche Moleküle. Wenn diese Moleküle im Übermaß vorhanden sind, können sie Lipide, Proteine und DNA schädigen. In experimentellen Modellen konnten *Tribulus terrestris* oder bestimmte Fraktionen davon einige Marker für oxidativen Stress reduzieren. Zudem blieben bestimmte zelluläre Parameter erhalten, die mit der Fähigkeit der Neuronen zusammenhängen, zu überleben und zu funktionieren.Dieser Effekt ist für die Forschung von Interesse, da Neurodegeneration selten von einem einzigen Ereignis abhängt. Normalerweise sind oxidativer Stress, Entzündungen und mitochondriale Dysfunktion gleichzeitig beteiligt. Letztere bezeichnet eine Schädigung der Mitochondrien, jener Zellstrukturen, die Energie produzieren. In diesem Zusammenhang wird *Tribulus* nicht zur Heilung einer neurologischen Erkrankung untersucht. Die Forscher bewerten stattdessen seine Wirkung auf einen Prozess, der die Krankheit begünstigen kann. Der in experimentellen Modellen beobachtete Nutzen impliziert nicht automatisch einen klinischen Effekt beim Menschen.Die Konsistenz der präklinischen Daten macht dieses Feld jedoch beachtenswert. *Tribulus* zählt daher zu den Phytokomplexen, die gegen oxidativen Hirnschaden untersucht werden. Diese Einordnung sollte jedoch nicht zu Schlussfolgerungen führen, die über die verfügbaren Daten hinausgehen. Das Gehirn erfordert ein sehr feines Gleichgewicht zwischen Schutz und Aktivierung. Wenn sich dieses Gleichgewicht langfristig verschiebt, können schwerwiegende Folgen für das Nervengewebe auftreten. Die Pflanze wird

daher als möglicher Regulator der zellulären Umgebung untersucht. Eine solche Wirkung könnte diese Umgebung weniger anfällig für Schäden durch Oxidation machen. Dies ist eine plausible biologische Hypothese, keine Garantie für eine therapeutische Wirksamkeit.Diese Unterscheidung hält die Diskussion korrekt und nützlich für diejenigen, die nach zuverlässigen Daten suchen. Modelle zum Extrakt und zu Dioscin, einem Steroidsaponin des Phytokomplexes, deuten auf einen konsistenten Schutz hin. Dieser Schutz betrifft vor allem den oxidativen Schaden, der bei einigen neurodegenerativen Erkrankungen auftritt [29][24][27].

7.2 Tribulus terrestris, Mikroglia und Neuroinflammation

Die Mikroglia umfasst die wichtigsten Immunzellen im zentralen Nervensystem. Bleibt sie zu lange aktiv, kann dies schädliche Formen der Neuroinflammation fördern. Einige präklinische Studien deuten darauf hin, dass *Tribulus terrestris* die Aktivierung der Mikroglia reduzieren kann. Es könnte zudem die Produktion von proinflammatorischen Mediatoren begrenzen, also von Substanzen, die Entzündungen begünstigen. Diese Effekte sind mit einer geringeren Toxizität des Umfelds der Gehirnzellen vereinbar.Diese Erkenntnis ist relevant, da viele neurologische Erkrankungen neben degenerativen Schäden auch eine chronische Entzündung beinhalten. Dieser Forschungsansatz schlägt eine Multitarget-Wirkung vor, also eine Wirkung, die auf mehrere biologische Zielstrukturen ausgerichtet ist. Der Phytokomplex könnte sowohl auf Neuronen als auch auf die sie umgebenden Immunzellen einwirken. Dies ist ein nützlicher Interpretationsansatz, der jedoch noch weit von einer gesicherten klinischen Anwendung entfernt ist. Die richtige Frage lautet nicht, ob *Tribulus* Neuroinflammation heilt. Stattdessen muss gefragt werden, ob biologische Daten vorliegen, die neue Forschungen rechtfertigen. Diese Daten existieren, vor allem in experimentellen Modellen.Dieses Feld erweitert die Untersuchung von *Tribulus* über seine bekannteren Anwendungsbereiche hinaus. Es ordnet die Pflanze auch in die Gruppe der Nährstoffe und Phytokomplexe ein, die zur Regulierung des immunoneuralen Dialogs untersucht werden. Dieser Begriff beschreibt die Kommunikation zwischen dem Immunsystem und den Nervenzellen. Das Thema verdeutlicht, dass das Gehirn kein vom Rest der Abwehrkräfte isoliertes Organ ist. Innerhalb des Gehirns kommunizieren Immunzellen und Neuronen kontinuierlich miteinander. Wenn dieser Dialog zu entzündlich wird, verändern sich die Funktion und die Widerstandsfähigkeit des Nervengewebes.*Tribulus* wird daher als möglicher Regulator dieses empfindlichen Gleichgewichts untersucht. Dennoch muss jede Bewertung innerhalb der Grenzen der heute verfügbaren Daten bleiben. Vorsicht ist geboten, insbesondere wenn mögliche Anwendungen beim Menschen in Betracht gezogen werden. Die aktuellen Studien zur Neuroinflammation zeigen ein konkretes, aber noch experimentelles Interesse [29][24][25].

7.3 Tribulus terrestris und Parkinson-Krankheit: Was die Studien nahelegen

In experimentellen Modellen des Morbus Parkinson haben Forscher die mögliche neuroprotektive Rolle von Tribulus terrestris untersucht. Die Daten deuten auf eine mögliche Reduzierung von oxidativem Stress und eine Veränderung der Neuroinflammation hin. Sie legen zudem einen Schutz der dopaminergen Neuronen nahe, jener Nervenzellen, die Dopamin produzieren. Bei Tieren waren diese Effekte auch mit einigen Verhaltensverbesserungen verbunden. Der Wert der Ergebnisse ergibt sich aus der Gesamtheit mehrerer biologischer Signale, nicht aus einem einzelnen Ergebnis.Allerdings entspricht ein präklinisches Signal nicht einer nachgewiesenen klinischen Wirksamkeit. Parkinson ist eine komplexe Erkrankung, und die verfügbaren Behandlungen bleiben diejenigen, die den klinischen Standards entsprechen. Zum jetzigen Zeitpunkt kann Tribulus daher nicht als Behandlung präsentiert werden. Dieser Abschnitt beantwortet eine sehr spezifische und für viele Leser sensible Frage. Viele Menschen suchen tatsächlich nach natürlichen Heilmitteln für neurodegenerative Erkrankungen und fordern datenbasierte Antworten. Tribulus kann als interessanter Forschungsgegenstand beschrieben werden, nicht als Lösung. Dieser Ansatz wahrt das richtige Gleichgewicht zwischen praktischem Nutzen und wissenschaftlicher Strenge.Die

Parkinson-Forschung verdeutlicht auch, warum Wissenschaftler das dopaminerge System bewerten. Bei dieser Krankheit sind die dopaminergen Neuronen tatsächlich sehr empfindlich gegenüber oxidativem Stress. Wenn ein Phytokomplex bestimmte Schäden in Tiermodellen reduziert, verdient dieser Befund Aufmerksamkeit. Er erlaubt jedoch keine Vorwegnahme klinischer Anwendungen vor angemessenen Studien am Menschen. Die Distanz zwischen Labor und klinischer Praxis bleibt groß. Die nützliche Information ist daher einfach: Tribulus ist Gegenstand der Forschung, keine etablierte Therapie. Die Modelle zu Parkinson und zum dopaminergen System liefern konsistente Ergebnisse, bleiben aber präklinisch [25][27].

7.4 Tribulus terrestris und Gedächtnis: Was wir aus experimentellen Modellen wissen

Einige präklinische Modelle haben *Tribulus terrestris* auch im Hinblick auf Gedächtnis, Angstzustände und Stressresistenz untersucht. In diesen Studien wurden Veränderungen bei Mediatoren wie dem BDNF (Brain-Derived Neurotrophic Factor) beobachtet – einem Protein, das die Fähigkeit von Neuronen unterstützt, zu überleben und sich anzupassen – sowie bei einigen Entzündungssignalen, was mögliche Auswirkungen auf die neuronale Plastizität und das Verhalten haben könnte.Es ist wichtig, diese Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren: Das Gedächtnis ist keine einfache Funktion und kann nicht auf eine einzelne Verbindung oder einen einzelnen biologischen Pfad reduziert werden. Dennoch macht die Tatsache, dass *Tribulus* Anzeichen für eine Wirkung auf die Neuroplastizität zeigt – also die Fähigkeit des Gehirns, sich anzupassen und neu zu organisieren –, es als Multitarget-Phytokomplex interessant. Dieser Abschnitt ist nützlich, um eine immer häufiger gestellte Frage aufzugreifen: Kann *Tribulus* dem Gehirn helfen? Die korrekte Antwort lautet, dass es zwar interessante biologische Hypothesen gibt, die klinischen Daten jedoch noch unzureichend sind.Dies schmälert nicht den Wert des Forschungszweigs, der das Profil der Pflanze vielmehr über die klassischen Bereiche der Sexualität und des Stoffwechsels hinaus erweitert. Für den Leser hilft dieser Teil dabei, zwischen allgemeinen Versprechen und konkreten Belegen zu unterscheiden und allzu optimistische Interpretationen zu vermeiden. Das Gehirn integriert energetische, entzündliche und neurotrophe Signale auf sehr komplexe Weise, und *Tribulus* könnte mit mehreren Ebenen dieses Systems interagieren. Die Hypothese ist faszinierend, aber eine klinische Validierung steht noch aus. In diesem Sinne ist der Wert eher explorativer und erkenntnistheoretischer Natur.Der Leser kann den Phytokomplex somit in einen breiteren Kontext einordnen, ohne ihn zu einer Wunderlösung zu stilisieren. Auch die Modelle zu chronischem Stress und Gedächtnis unterstreichen diese explorative Sichtweise [32][24].

8. AMPK UND STICKSTOFFMONOXID (NO)

Wenn die Energie sinkt, wandeln bestimmte Neuronen diese Information in eine schnelle chemische Reaktion um. AMPK (ein Enzym, das den zellulären Energiestatus erfasst) kann Signalwege aktivieren, die Stickstoffmonoxid (NO) produzieren. Dieser Botenstoff reguliert die Neuronen und verdeutlicht das Signal des Energiemangels. *Tribulus terrestris* liefert zwar kein direktes NO, doch Diosgenin und Dioscin, zwei steroidale Saponine der Pflanze, können auf Signalwege einwirken, die diesen Schaltkreisen gemeinsam sind [17][28][21].Diese Achse verbindet den Energieverbrauch, die neuronale Aktivität und die interne Steuerung des Körpers. AMPK wird aktiviert, wenn die Zelle erkennt, dass ihre Energiereserven niedrig sind. Daraufhin leitet sie eine Reaktion ein, die der Zelle bei der Anpassung hilft. In einigen Neuronen des Hypothalamus, einem Hirnareal, das viele lebenswichtige Funktionen reguliert, steigt zudem der NO-Spiegel an. Dieser Botenstoff verstärkt das Signal und koordiniert die elektrische Aktivität, den Energieverbrauch und die autonome Reaktion.Das Gehirn wandelt den Energieabfall somit in eine Botschaft um, die Appetit, Wachzustand und Verhalten verändern kann. Dieser Prozess hilft dabei, die Studien zu *Tribulus* einzuordnen. Forscher bewerten den Phytokomplex (die Gesamtheit der Pflanzeninhaltsstoffe) in Netzwerken, die Stoffwechsel und nervöse Steuerung miteinander verbinden [33][36][34][35].Im ventromedialen Kern des Hypothalamus werden bestimmte Neuronen aktiviert, wenn der Glukosespiegel sinkt. Diese Zellen, die als glukoseinhibierte Neuronen bezeichnet werden,

helfen Forschern bei der Untersuchung dieses Prozesses. In diesen Zellen begünstigt AMPK die Phosphorylierung (Anhängen einer Phosphatgruppe) der nNOS. Letztere, die neuronale Stickstoffmonoxid-Synthase, produziert daraufhin eine größere Menge an NO [36][34].Das Gehirn registriert nicht nur den Mangel, sondern erzeugt auch eine gut koordinierte Antwort. Diese Reaktion kann sich auf den Wachzustand, das Hungergefühl und den autonomen Tonus (die unwillkürliche Aktivität der Organe) auswirken. Forscher haben den Schaltkreis auch im Hinblick auf das Überleben der Neuronen und die Abwehr von zellulärem Stress untersucht. Das Gleichgewicht zwischen AMPK, NO und nNOS kann sowohl die Anpassungsfähigkeit als auch die Anfälligkeit der Neuronen regulieren [33][35][30].Das Thema betrifft zwar auch die Pflanze, deutet jedoch nicht auf eine einzelne, direkte Wirkung auf diese Achse hin. Forscher untersuchen ihre Inhaltsstoffe in Netzwerken, in denen Stoffwechsel und NO-Signale aufeinandertreffen. Die nitrerge Signalübertragung (Prozesse, die durch Stickstoffmonoxid reguliert werden) beschreibt genau diese Art von Austausch.Die verfügbaren Daten beschreiben vor allem einen möglichen Mechanismus und sollten daher mit Vorsicht betrachtet werden. Es fehlen gezielte klinische Studien am Menschen. Die Untersuchungen deuten auf eine mögliche Wirkung auf gemeinsame zelluläre Signalwege hin, nicht auf ein bereits erprobtes Heilmittel für neuroendokrine Störungen [29][24][25][26]. Zusammenfassend umfasst der Schaltkreis folgende Schritte:

- AMPK wandelt den Energiemangel in ein für die Neuronen nützliches Signal um.
- NO verstärkt die Kommunikation in den Neuronen des Hypothalamus.
- nNOS produziert NO in den Schaltkreisen, die den Glukosespiegel erfassen.
- Bestimmte Verbindungen aus *Tribulus* wirken auf ähnliche Stoffwechselwege ein.

Diese Achse zeigt, wie das Gehirn einen Energieabfall in eine biologische Reaktion umwandelt. Zunächst betrachten wir die Rolle von AMPK und nNOS. Anschließend untersuchen wir den Schaltkreis im Hypothalamus, der den Glukoseabfall erkennt.

8.1 AMPK und Stickstoffmonoxid: Wie das Gehirn ein Energiedefizit wahrnimmt

Im Gehirn fungiert AMPK als Sensor für die Energiereserven der Zelle. Wenn der Glukosespiegel oder die Energie abnimmt, signalisiert das Enzym, dass Funktionen und Verhalten angepasst werden müssen. In den Neuronen des Hypothalamus kann dieses Signal die Produktion von Stickstoffmonoxid steigern. Das NO wirkt innerhalb der Zelle und verstärkt die Reaktion auf den Energiemangel. Auf diese Weise entsteht eine Reihe von Reaktionen, die dabei helfen, den Mangel frühzeitig zu erkennen. Der Schaltkreis bereitet koordinierte Antworten vor, die Appetit, Wachzustand und Energieverbrauch betreffen. Dieser Punkt bietet eine andere Sichtweise auf die bekannteren Eigenschaften von *Tribulus terrestris*. Der Fokus verlagert sich nämlich von der Pflanze hin zu dem biologischen Netzwerk, auf das ihre Verbindungen einwirken können. In der Phytopharmakologie (der Lehre von den biologischen Wirkungen pflanzlicher Substanzen) untersuchen Forscher Diosgenin und Dioscin hinsichtlich spezifischer zellulärer Signalwege. Diese Wege regulieren Entzündungen, oxidativen Stress (Schäden durch reaktive Moleküle) und das Energiegleichgewicht [2][17][28][21][23]. NO ist daher kein bloßes Abfallprodukt. Es ist ein Signal, das den Energiesensor mit den Netzwerken des Gehirns verbindet. Der AMPK-NO-Schaltkreis zeigt zudem, wie schnell das Gehirn Veränderungen der Energiereserven erkennt. Auf diese Weise verknüpft er Stoffwechseldaten mit den Reaktionen, die das Verhalten steuern. Dieses Bild erklärt das neurobiologische Interesse an der Pflanze, das über den metabolischen und sexuellen Aspekt hinausgeht. Der Schlüssel liegt in der Kontrolle des Systems, nicht in einer bloßen Steigerung seiner Aktivität. Die Ergebnisse beschreiben einen physiologischen Zusammenhang, belegen jedoch keinen klinischen Effekt beim Menschen. Sie bieten jedoch einen schlüssigen Rahmen, um experimentelle Daten zu interpretieren, ohne unbewiesene Wirkungen zuzuschreiben. Dieser Rahmen stimmt mit der grundlegenden Literatur zu diesem Schaltkreis überein [33][34][35].

8.2 Tribulus terrestris und nNOS: der glukoseinhibierte hypothalamische Schaltkreis

Im ventromedialen Kern des Hypothalamus steuern glukoseinhibierte Neuronen, wie viel Energie noch verfügbar ist. Wenn der Glukosespiegel sinkt, aktivieren diese Zellen AMPK. Das Enzym fördert daraufhin die Phosphorylierung von nNOS und steigert die Produktion von Stickstoffmonoxid. Die nNOS (ein neuronales Enzym, das NO produziert) spielt somit eine Schlüsselrolle in diesem Schaltkreis. Das NO löst eine Reihe von Reaktionen aus, die das Energiesignal verstärken und stabilisieren. Das Gehirn reagiert also nicht nur auf den Glukoseabfall, sondern wandelt diese Information in eine umfassendere Reaktion um. Im Hypothalamus hilft das nitrerge Signal dabei, Hormone, Hunger und den Wachzustand zu koordinieren. Die Auswirkungen des Schaltkreises können sich somit über das einzelne Neuron hinaus erstrecken. Für die Pflanze bietet dieser Mechanismus eine nützliche Grundlage, um bestimmte experimentelle Daten zu interpretieren. Forscher untersuchen deren Inhaltsstoffe in Systemen, in denen der Energieverbrauch Verhalten und Homöostase beeinflussen kann. Die Nitrergie (biologische Funktionen, die mit NO verbunden sind) umfasst diese Austauschprozesse. Stickstoffmonoxid wirkt nicht nur als gefäßerweiterndes Molekül, das heißt, es ist nicht nur in der Lage, die Gefäße zu weiten. Im Gehirn fungiert es auch als Signal zwischen den Energiereserven und der neuronalen Aktivität. Sehr kleine Moleküle können daher Informationen über den Stoffwechsel zusammenführen und eine angemessene Reaktion steuern. Diese Sichtweise ordnet den Phytokomplex in die Prozesse ein, die den Energiehaushalt regulieren, ohne ihm klinische Effekte zuzuschreiben, die nicht bewiesen sind. Die Daten bleiben mechanistischer Natur und beschreiben einen möglichen Kontaktpunkt mit der Physiologie des Hypothalamus. Die Studien zum glukoseinhibierten Schaltkreis und zur nNOS bieten einen soliden physiologischen Bezugspunkt [33][34][35].

9. NO UND OREXIN

Im Gehirn verbindet der Dialog zwischen Stickstoffmonoxid, abgekürzt NO, und Orexin Energie und Aktivitätsniveau. Stickstoffmonoxid ist ein gasförmiges Signalmolekül, also ein Stoff, der lokale Signale übermittelt. Orexin hingegen ist ein neuropeptiderges System, das auf kleinen, aus Proteinen gebildeten Botenstoffen basiert. Dieses System unterstützt Wachheit, Motivation und die Reaktion auf wichtige Reize. In diesem Netzwerk fungiert NO nicht nur als peripherer „Gefäßerweiterer“, also als Substanz, die Blutgefäße weitet. Es kann auch die Erregbarkeit orexinerger Neuronen regulieren und ihnen helfen, das Arousal, also Wachsamkeit und Reaktionsbereitschaft, aufrechtzuerhalten.Bei der Untersuchung der möglichen Auswirkungen von Tribulus terrestris auf das Nervensystem wird daher kein direkter und allgemeiner Stimulus angenommen. Der Phytokomplex, also die Gesamtheit der Pflanzeninhaltsstoffe, kann stattdessen in Schaltkreise eingreifen, die Stoffwechsel und Wachsamkeit miteinander verbinden [34][37][38].Dieser Zusammenhang ist Teil einer umfassenderen Pathophysiologie, in der sich die Kontrollsysteme des Körpers gegenseitig beeinflussen. Um die Homöostase, also das innere Gleichgewicht, aufrechtzuerhalten, muss das Gehirn bewerten, wie viel Energie zur Verfügung steht. Es muss daher festlegen, ob es Aktivität, Aufmerksamkeit und Stressreaktionen unterstützen kann. AMPK ist ein Protein, das den Energiestatus der Zelle erfasst und signalisiert, wie viel Energie verfügbar ist. Es kann auf hypothalamische Neuronen einwirken, die sich im Hypothalamus befinden und an der Steuerung lebenswichtiger Funktionen beteiligt sind. Diese Neuronen koordinieren Hunger, Wachheit und Motivation.In dieser Achse fungiert NO als schneller Botenstoff. Je nach Kontext kann es die Übertragung zwischen Neuronen verstärken oder abschwächen. Wenn diese Signale das Orexin erreichen, erzeugen sie keinen einheitlichen und konstanten Effekt. Stattdessen regulieren sie den Wachzustand präzise. Diese Wirkung macht das Thema auch für Tribulus interessant. Dies belegt jedoch keine klinische Wirksamkeit der Pflanze auf das Verhalten oder den Schlaf [39][37][38][40].In experimentellen Modellen kann Stickstoffmonoxid die Neuronen, die die Wachsamkeit aufrechterhalten, bremsen oder fördern. Das Ergebnis ändert sich je nach Kontext. Reize, die das Erwachen verursachen, erhöhen

hingegen tendenziell die Aktivität dieser Schaltkreise. Das System ist also nicht statisch, sondern reagiert auf den Zustand des Körpers [37]. Orexin kann auch die Erregung der Neuronen des Locus coeruleus, eines Bereichs im Hirnstamm, erhöhen. Diese Struktur ist an der Aufmerksamkeit und der Reaktion auf Reize beteiligt. Orexin kann so das Arousal stärken, den Zustand der Bereitschaft, der Aufmerksamkeit und Reaktion erleichtert [41][40].Dieses Netzwerk hilft zu verstehen, warum Studien zu Tribulus Hypothesen zu Stress und neuroendokrinen Funktionen beinhalten. Man kann der Pflanze jedoch keinen direkten und zuverlässigen Effekt auf die Wachheit zuschreiben. Einige ihrer Inhaltsstoffe können, zumindest in präklinischen Studien, auf die Knotenpunkte wirken, die Energie und Aktivität verbinden. Es bleibt eine wichtige Einschränkung: Dies ist eine physiologische und experimentelle Interpretation, keine etablierte therapeutische Indikation.Die Verbindung zu Stickstoffmonoxid hilft auch zu verstehen, wie ein metabolisches Signal das Verhalten steuern kann. Wenn die Energie sinkt, muss das Nervensystem wählen, ob es Ressourcen schont oder den Wachzustand beibehält. Orexin ist an dieser Wahl beteiligt und erhöht Motivation, Ressourcensuche und Wachsamkeit. NO reguliert hingegen die Schwelle, ab der diese Neuronen aktiviert werden. Der Schaltkreis dient also nicht nur dazu, „wach zu halten“. Er hilft auch dabei, die Wachheit im Verhältnis zu den körperlichen Bedingungen sinnvoll zu gestalten. Es handelt sich um eine adaptive Reaktion, nicht um eine einfache Steigerung der Erregung.Für Tribulus betrifft das wissenschaftliche Interesse vor allem die Mechanismen, die Nervensystem und Hormone verbinden. Es betrifft keine direkten klinischen Ergebnisse zu Schlaf, Aufmerksamkeit oder Stimmung [34][39][37][41].Schließlich muss klar zwischen einer präklinischen Hypothese und der klinischen Praxis unterschieden werden. Die zitierten Belege beschreiben ein kohärentes Netzwerk, beweisen aber keinen vorhersehbaren Effekt von Tribulus. Insbesondere zeigen sie nicht, dass ein Nahrungsergänzungsmittel den
Schlaf-Wach-Rhythmus beim Menschen verändert. Die Physiologie des Orexins ist komplex, und kleine Veränderungen des Kontextes können das biologische Ergebnis beeinflussen. Zudem wirken Stress, Schlafmangel, körperliche Aktivität, Ernährungszustand und hormonelle Signale auf dieselben Schaltkreise. Die korrekteste Interpretation bleibt daher vorsichtig. Tribulus wird als möglicher Regulator einiger Signalknotenpunkte untersucht. Es ist jedoch kein Regulator für Arousal oder Schläfrigkeit mit bereits bewiesener klinischer Wirksamkeit [39][37][38]. Aus dieser Perspektive müssen einige Punkte zusammengehalten werden:

- NO kann die Aktivität orexinerger Neuronen fein regulieren.
- Orexin unterstützt die Wachheit und verhaltensbezogene Aktivitäten.
- Energetische Signale können diese Schaltkreise erreichen und regulieren.
- Diese Verbindung hilft dabei, Stress und Arousal zu interpretieren.

Der erste Punkt betrifft die Signalübertragung zwischen NO und Orexin im Körper. Der folgende Abschnitt erläutert, wie sich dieses Netzwerk auf Wachheit, Aufmerksamkeit und die Stressreaktion auswirkt.

9.1 Orexin: Das System, das Energie, Wachsamkeit und Motivation verbindet

Orexin umfasst kleine Botenstoffe, die im lateralen Hypothalamus produziert werden, einem Bereich an der Basis des Gehirns. Dieses System verbindet Energiesignale mit den Reaktionen des Körpers. Wenn die Ressourcen sinken, steigern die Orexin-produzierenden Neuronen die Wachheit. Sie fördern zudem die Nahrungssuche und machen das Gehirn aktiver. Orexin bildet somit eine Brücke zwischen Energienutzung und Verhalten. Im Zusammenhang mit Tribulus können AMPK und Stickstoffmonoxid Signale an diese Neuronen senden. Energiemangel bleibt also nicht nur ein chemischer Wert. Das Gehirn übersetzt ihn in einen aktiveren Zustand. Dieser Schritt erklärt, warum bestimmte Verbindungen der Pflanze im Zusammenhang mit Stress, Wachsamkeit und hormonellen Netzwerken untersucht werden. Das Thema betrifft auch Schlaf, Hunger, Handlungsdrang und Stressreaktion. Die Daten zeigen jedoch keine generelle stimulierende Wirkung. Sie deuten lediglich darauf hin, dass einige Mechanismen in die Schaltkreise eingreifen können, die das Arousal regulieren. Orexin wirkt sich auch auf die Energienutzung im Gehirn und im restlichen

Körper aus. Die Verbindung zwischen Energie und Verhalten wird dadurch noch enger. Das Verständnis dieses Netzwerks hilft dabei, die Tests zu interpretieren, ohne dem Phytokomplex eine zu weitreichende Rolle zuzuschreiben. Das Netzwerk verbindet nämlich einen internen Zustand mit einer nützlichen und sichtbaren Reaktion. Die grundlegenden Daten zeigen den Zusammenhang zwischen Orexin, Energie und Wachzustand [39][42][41].

9.2 Tribulus terrestris, Orexin und die Regulation des Schlaf-Wach-Rhythmus

Das Orexin-System reguliert nicht nur Hunger und Tatendrang, sondern auch den
Schlaf-Wach-Rhythmus. Wenn die entsprechenden Neuronen aktiv sind, steigt die Wachsamkeit und der Wachzustand bleibt erhalten. Nimmt ihre Aktivität hingegen ab, kann das Gehirn leichter in den Schlaf übergehen. In Studienmodellen können AMPK und Stickstoffmonoxid diese Neuronen beeinflussen. Sie können somit das Wachsamkeitsniveau verändern. Aus diesem Grund ist Tribulus terrestris auch für die Forschung zu Stress und körperlicher Aktivität von Interesse. Einige präklinische Tests bringen die Pflanze mit den Netzwerken zwischen Hormonen und Gehirn in Verbindung. Dies beweist jedoch keinen direkten Effekt, der den Schlaf einleitet oder die Wachheit stimuliert. Energie, Schlaf, Aufmerksamkeit und Verhalten gehören tatsächlich zum selben körpereigenen Netzwerk. Die Pflanze könnte lediglich auf einen Teil dieses Systems einwirken. Der Schlaf-Wach-Rhythmus hängt zudem von vielen anderen Faktoren ab. Ihre Rolle bleibt daher ein Forschungsthema und stellt keine bereits validierte klinische Anwendung dar. Die Daten erfordern weitere Studien und stützen keine einfachen Heilversprechen. Die mögliche Rolle des Phytokomplexes muss noch weiter erforscht werden und bietet keine Grundlage für eine Verschreibung. Diese Vorsicht verhindert, dass den Ergebnissen ein Wert beigemessen wird, den sie nicht besitzen. Die Studien verknüpfen Orexin, Wachsamkeit und Energiebilanz. Sie zeigen jedoch keine direkte klinische Anwendung der Pflanze [39][37][41].

10. OREXIN UND NORADRENALIN: DIE VERBINDUNG ZUM LOCUS COERULEUS

Im Gehirn erfolgt die Verbindung zwischen Orexin und Noradrenalin über einen kleinen Kern: den Locus coeruleus. Orexin ist ein Neuropeptid (ein kleines, von Neuronen produziertes Molekül), das den Wachzustand und den Appetit reguliert. Der Locus coeruleus produziert und verteilt einen Großteil des im Gehirn vorhandenen Noradrenalins. Seine Neuronen tragen dazu bei, Wachheit, Aufmerksamkeit und Reaktionsbereitschaft aufrechtzuerhalten. Wenn sie orexinerge Signale empfangen, werden sie aktiver und setzen Noradrenalin in vielen Bereichen frei. Dieser Effekt koordiniert das Arousal (den Wachheitsgrad), anstatt nur als einfacher Stimulus zu wirken. Dieser Vorgang zeigt, wie der energetische Zustand Verhalten, Wachsamkeit und die Reaktion auf wichtige Ereignisse verändern kann.Diese Achse dient nicht nur dazu, das Gehirn „wachzurütteln“, sondern hilft ihm auch dabei, seine Reaktionen anzupassen. Auf diese Weise kann das Gehirn angemessen auf interne und externe Signale reagieren. In experimentellen Modellen aktiviert Orexin den Locus coeruleus direkt und steigert das Arousal. Es kann auch über lokale erregende Signale und Kalziumströme außerhalb der Zellen wirken. Diese Bewegungen machen die Reaktion der Neuronen effektiver [40,41,43].Wenn der Schaltkreis zu aktiv bleibt, kann dies die Wachsamkeit erhöhen und sich auf Schlaf, Angst und Stress auswirken. Im Zusammenhang mit Tribulus terrestris erfordert diese Erkenntnis Vorsicht. Sie beweist zwar keine direkte stimulierende Wirkung, deutet jedoch auf einen möglichen Zusammenhang zwischen Stoffwechsel, Nervensignalen und Wachsamkeit hin. Um die folgenden Schritte nachzuvollziehen, ist es hilfreich, sich einige Kernpunkte zu merken:

- Der Locus coeruleus empfängt erregende Signale und verbreitet einen allgemeinen Zustand der Wachsamkeit.
- Orexin erhöht gezielt die Aktivität der Neuronen, die Noradrenalin produzieren.
- Noradrenalin reguliert Wachsamkeit, Aufmerksamkeit und das emotionale Gedächtnis (Erinnerungen, die mit intensiven Emotionen verbunden sind).

- Bleibt der Schaltkreis dauerhaft aktiv, kann dies Hyperarousal (übermäßige Wachsamkeit) und Stress begünstigen.

Der Übergang von Orexin zu Noradrenalin ergibt sich aus der Rolle des Locus coeruleus. Wir werden sehen, wie dieses Zentrum die Wachheit reguliert, an Stressreaktionen beteiligt ist und auf das emotionale Gedächtnis einwirkt.

10.1 Locus coeruleus: Das noradrenerge Zentrum der Wachheit

Der Locus coeruleus ist der wichtigste noradrenerge Kern des Gehirns. Aus diesem Grund reguliert er Aufmerksamkeit, Wachheit und die Stressreaktion. Noradrenalin ist ein Neurotransmitter (ein Botenstoff, der Signale zwischen Neuronen überträgt) und koordiniert zahlreiche Reaktionen im Gehirn. Wenn dieser Kern ein Signal von Orexin empfängt, steigert er seine Aktivität. Anschließend verteilt er den Neurotransmitter in viele Bereiche und sorgt für einen gut regulierten Wachzustand. Im Kontext von *Tribulus terrestris* verknüpft dieser Mechanismus den energetischen Zustand mit einer konkreten körperlichen Reaktion. Er steigert nicht nur die Aktivität, sondern reguliert auch das Gedächtnis, die Aufmerksamkeit und die Vorbereitung auf Bewegungen. An diesem Punkt wird ein Signal für Energiemangel zu einer umfassenden nervösen Reaktion. Seine Wirkung bleibt daher nicht auf einen einzigen Bereich beschränkt.Das Signal erreicht verschiedene Teile des Gehirns und kann bestimmte mentale Prozesse beschleunigen. Dies hilft dabei, den Zusammenhang zwischen Stress, Handlungsdrang und Wachheit zu verstehen. Ein einziges Zentrum kann tatsächlich Gehirnareale regulieren, die sehr unterschiedliche Aufgaben erfüllen. Deshalb spielt es eine Schlüsselrolle bei der Anpassungsfähigkeit des Körpers. Die Pflanze könnte zwar am Anfang des Schaltkreises ansetzen, doch es gibt keine Belege für eine direkte Stimulation. Die Beziehung bleibt daher indirekt, auch wenn der Mechanismus sie plausibel macht. Die zitierten Studien verdeutlichen die Rolle dieses Kerns bei der Wachheit. Sie zeigen zudem seine Bedeutung bei der Freisetzung des chemischen Signals [40][44][45][46].

10.2 Orexin, Locus coeruleus und die Reaktion auf chronischen Stress

Wenn der Orexin-Locus-coeruleus-Schaltkreis über einen längeren Zeitraum aktiv bleibt, kann die Wachsamkeit in ein Hyperarousal (übermäßige Alarmbereitschaft) umschlagen. Noradrenalin hält die Gehirnaktivität hoch und kann die Reaktion auf Stressreize verstärken. Einige experimentelle Modelle zeigen, dass die chronische Aktivität dieser Achse Angstzustände und Schlafstörungen begünstigen kann. Sie kann auch die Generalisierung von Angst fördern, also die Furcht vor ähnlichen, aber nicht identischen Situationen. Einige Studien an Zellen und Tieren deuten darauf hin, dass *Tribulus terrestris* auf die Stressschaltkreise einwirken kann. Die Daten beziehen sich auch auf Neuroinflammation (Entzündungen, die das Nervengewebe betreffen). Dieser mögliche Effekt beweist jedoch keinen therapeutischen Nutzen beim Menschen. Die Pflanze ist keine anerkannte Behandlung für chronischen Stress oder Angststörungen. Sie bleibt jedoch ein Forschungsgegenstand im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen dem Energiezustand und hochkomplexen neuronalen Netzwerken.Der zentrale Punkt verbindet das orexinerge Signal, den noradrenergen Kern und die anhaltende Stressreaktion. Wenn das Gehirn über einen langen Zeitraum Reize empfängt, kann es einen Teil seines normalen Gleichgewichts verlieren. Eine kurzfristig nützliche Reaktion kann so unangemessen werden und Auswirkungen auf den Schlaf haben. Das wissenschaftliche Interesse ist real, aber die verfügbaren Daten erlauben noch keine klinischen Schlussfolgerungen. Vorsicht ist daher geboten, um zwischen einem möglichen Mechanismus und einem bereits beim Menschen nachgewiesenen Effekt zu unterscheiden. Studien zu chronischem Stress und der noradrenergen Achse bestätigen die komplexe Natur dieses Schaltkreises [44][45][47].

10.3 Tribulus terrestris und emotionales Gedächtnis: die Rolle von Noradrenalin

Noradrenalin unterstützt das Wachsein, ist aber auch an der Bildung des emotionalen Gedächtnisses beteiligt. Wenn der Locus coeruleus aktiviert wird, setzt er diesen Botenstoff in Bereichen wie der Amygdala und dem Hippocampus frei. Die Amygdala

bewertet die emotionale Bedeutung von Ereignissen, während der Hippocampus Erinnerungen formt und festigt. Das Signal kann so die Spur verstärken, die durch wichtige oder als bedrohlich empfundene Erlebnisse hinterlassen wird. Der Orexin-Locus-coeruleus-Schaltkreis reguliert sowohl das Arousal als auch die Art und Weise, wie wir eine Erfahrung abspeichern. Einige Daten aus Zell- und Tierstudien ordnen *Tribulus terrestris* in dieses Forschungsfeld ein. Die Studien deuten auf eine mögliche Wirkung auf die chemischen Signale hin, die mit Stress und synaptischer Plastizität verbunden sind. Dieser Begriff beschreibt die Fähigkeit der Verbindungen zwischen Neuronen, sich im Laufe der Zeit zu verändern. Das Thema geht über eine einfache sedative oder stimulierende Wirkung der Pflanze hinaus. Es betrifft die Art und Weise, wie das Gehirn Informationen mit emotionalem Wert ordnet und bewahrt.Die Daten belegen nicht, dass das Produkt das Gedächtnis oder die Stimmung bei Menschen verbessert. Sie weisen lediglich auf einen Forschungsansatz hin, der weitere Überprüfungen erfordert. Das emotionale Gedächtnis hängt von einem Netzwerk ab, das den noradrenergen Kern, die Amygdala und die Wachheitszentren verbindet. Eine mögliche Wirkung auf dieses Netzwerk stimmt mit einigen experimentellen Modellen überein, beweist jedoch keinen therapeutischen Nutzen. Die grundlegende Fachliteratur bestätigt die Rolle des Locus coeruleus in diesem Schaltkreis [45][48][49].

11. MTOR UND GLUTAMAT: WIE DER STOFFWECHSEL DIE EXZITATORISCHE ÜBERTRAGUNG REGULIERT

Im Gehirn kann ein mit der Energieversorgung verknüpftes Signal die Stärke der exzitatorischen Übertragung verändern. Eine zentrale Rolle spielt dabei mTOR (mammalian target of rapamycin), ein Signalweg, der auf Nährstoffe, Energie und Wachstum reagiert. Dieser Signalweg reguliert die Form und Aktivität von Synapsen, den Kontaktstellen zwischen Neuronen. Wenn sich das Netzwerk verändert, kann auch Glutamat, der wichtigste exzitatorische Botenstoff, der normalen Kontrolle entgleiten. Dieses Ungleichgewicht kann die Plastizität der Neuronen beeinträchtigen und in schweren Fällen zu Exzitotoxizität führen. Exzitotoxizität ist ein Schaden, der durch einen zu starken oder zu lang anhaltenden Reiz verursacht wird.In diesem Zusammenhang untersuchen Studien den Phytokomplex von Tribulus terrestris als möglichen indirekten Regulator. Der Phytokomplex ist die Gesamtheit der in der Pflanze enthaltenen Wirkstoffe. Einige Verbindungen, darunter Steroidsaponine, Diosgenin und Dioscin, wurden in Modellen getestet, die mit AMPK und mTOR in Verbindung stehen. Diese Substanzen „aktivieren“ die Neuronen nicht direkt, können aber auf zelluläre Signale einwirken. Solche Signale steuern das Wachstum, die Zellpflege und die Drosselung ihrer Aktivität. Dieser Aspekt ist wichtig, da das exzitatorische Signal auch vom energetischen Zustand des Nervengewebes abhängt. Es kommt also nicht nur auf die Freisetzung des chemischen Botenstoffs zwischen den Zellen an. Auch der Stoffwechsel trägt zur Qualität des Signals und zu dessen zeitlicher Kontrolle bei. Aus diesem Grund wird die Pflanze als mögliche Hilfe für das Gleichgewicht betrachtet und nicht als direktes Stimulans. Das Interesse ergibt sich aus den in präklinischen Modellen beobachteten Wirkungen gegen oxidativen Stress und Entzündungen. Diese Modelle umfassen Studien an Zellen und Tieren [29][24][26].Ein weiterer Punkt betrifft die Astrozyten, Gliazellen, die das Glutamat außerhalb der Zellen regulieren. Auf diese Weise tragen diese Zellen dazu bei, den gesamten exzitatorischen Tonus des Nervengewebes zu kontrollieren. Einige Studien deuten darauf hin, dass mTOR die Astrozyten und die Glutamat-Homöostase beeinflussen kann. Homöostase bezeichnet die Aufrechterhaltung des lokalen Gleichgewichts [50][51][52]. Andere Modelle zeigen, dass die Aufnahme von Transportern und Signalwegen abhängt, die auf zelluläre Energie reagieren [53][54]. Derselbe Signalweg kann daher in einigen Fällen helfen und in anderen Schäden begünstigen. Wenn Energie fehlt oder der Stress zunimmt, ändert sich das Verhältnis zwischen Freisetzung und Rückgewinnung leichter. Das Glutamat kann dann zu lange im Raum außerhalb der Zellen verbleiben. Die Umgebung wird dadurch anfälliger und kann die Neuronen zu einer übermäßigen und schädlichen Aktivität treiben.In der Verbindung zwischen Tribulus und mTOR gehen die Studien daher nicht von einem direkten Reiz aus. Einige Verbindungen könnten stattdessen ein stabileres Verhältnis zwischen Erregung und Schutz

der Neuronen fördern. Diese Interpretation stimmt mit den präklinischen Daten überein, doch fehlt es noch an einem gezielten klinischen Nachweis am Menschen [29][24][26]. Diese Sichtweise hilft auch dabei, die Studien zum Nervenschutz durch Tribulus terrestris zu interpretieren. In experimentellen Modellen reduzierten die Extrakte einige Prozesse, die mit zellulärem Stress verbunden sind. Sie wirkten auch auf Prozesse, die mit Entzündungen im Gehirn und dem Absterben von Neuronen zusammenhängen. Bei einer Hirnschädigung kann mTOR sowohl das Überleben der Zellen als auch das Glutamat beeinflussen. Es kann nämlich auf die Rezeptoren und Transporter dieses Botenstoffs einwirken [29][25][26][27].Diese Ergebnisse machen den Phytokomplex nicht zu einem bereits bewährten neurologischen Heilmittel. Sie zeigen jedoch, dass einige seiner Verbindungen auf biologische Knotenpunkte wirken, die für die Forschung von Interesse sind. Die Daten müssen daher mit Vorsicht gelesen und ihre Grenzen berücksichtigt werden. Die Pflanze ersetzt keine durch solide Beweise gestützte Behandlung, bietet aber ein nützliches Modell. Sie ermöglicht es, den Zusammenhang zwischen Ernährung, Redox-Gleichgewicht und synaptischen Signalen zu untersuchen. Das Redox-Gleichgewicht bezeichnet die Kontrolle der Prozesse, die oxidativen Stress verursachen. Die Kontrolle des Glutamats kann den Stoffwechsel mit dem Schutz der Neuronen verbinden. Vorerst bleiben die möglichen Auswirkungen jedoch vor allem experimenteller Natur. In der Praxis reguliert der Stoffwechsel nicht nur den Energieverbrauch und die Energieproduktion. Er trägt auch dazu bei, festzulegen, wie lange ein Schaltkreis aktiv und reaktionsbereit bleibt. Die wichtigsten Punkte sind:

- mTOR beeinflusst die Entstehung und Stabilität exzitatorischer Synapsen.
- Die Menge an Glutamat hängt auch von der Glia ab (Zellen, die Neuronen unterstützen und schützen).
- Ein gestörter Stoffwechsel kann die Aktivität der Synapsen erhöhen.
- Die Verbindungen des Tribulus wirken theoretisch als indirekte Regulatoren des Schaltkreises.

Es geht nicht um die Glutamatübertragung im Allgemeinen. Entscheidend ist zu verstehen, wie der Zellstoffwechsel deren Stärke und Dauer reguliert. Die folgenden zwei Abschnitte erläutern zunächst die exzitatorischen Synapsen und anschließend die Rolle der Astrozyten.

11.1 mTOR und glutamaterge Übertragung: Die Kontrolle der exzitatorischen Synapsen

mTOR reguliert die glutamaterge Übertragung sowohl vor als auch nach der Signalübermittlung an der Synapse. Es beeinflusst die präsynaptische Freisetzung und die postsynaptische Reaktion in den beteiligten Zellen. Die präsynaptische Zelle sendet das Signal, während die postsynaptische Zelle es empfängt. In experimentellen Modellen reduziert die Blockade dieses Signalwegs die Anzahl oder die Wirkung exzitatorischer Synapsen. Zudem kann sie die Präsenz der Rezeptoren verändern, die auf Glutamat reagieren. Der Zellstoffwechsel liefert also nicht nur Energie, sondern reguliert präzise den Dialog zwischen Neuronen.Dieser Abschnitt hilft dabei, die mögliche Rolle von *Tribulus terrestris* zu verstehen. Die Verbindungen der Pflanze könnten in Netzwerken wirken, in denen Glutamat verschiedene Funktionen reguliert. Dazu gehören Arousal, Gedächtnis und Stressreaktion. Arousal bezeichnet den Aktivierungszustand des Nervensystems. Dieser Schlüssel hilft auch dabei, präklinische Studien zum Schutz von Neuronen zu interpretieren. Je nach Modell kann das metabolische Signal den Zustand der Synapsen verändern. Es ergibt sich daher keine einzelne Wirkung der Pflanze auf das Gehirn. Die Studien gehen stattdessen von einer Wirkung auf ein Netzwerk aus, das Nährstoffe, Wachstum und den Dialog zwischen Neuronen verbindet. Die Synapse ist nämlich sehr empfindlich gegenüber der verfügbaren Energiemenge. Wenn sich das System verändert, können sowohl die Erregbarkeit als auch die Qualität der neuronalen Reaktion variieren. Die Pflanze sollte daher als möglicher indirekter Regulator betrachtet werden, nicht als schneller und eindeutiger Stimulus. Das Ergebnis hängt von dem biologischen Netzwerk ab, in dem der Phytokomplex wirkt. Dies ist der entscheidende Punkt in der Beziehung zwischen mTOR und Glutamat. Die grundlegenden Daten zeigen, dass dieser Signalweg die glutamaterge Übertragung deutlich beeinflusst [55][53].

11.2 Astrozyten, GLT-1 und das Glutamat-Gleichgewicht: Warum mTOR eine Rolle spielt

Astrozyten sind keine passiven Stützzellen: Sie regulieren die Glutamat-Clearance, also dessen Entfernung aus dem extrazellulären Raum, über Transporter wie GLT-1 und GLAST und tragen entscheidend zum Gleichgewicht der tripartiten Synapse bei. mTOR ist an dieser Kontrolle beteiligt, da es den Astrozyten-Stoffwechsel, die mitochondriale Funktion und die Fähigkeit zur Aufrechterhaltung eines stabilen extrazellulären Milieus beeinflusst. Wenn mTOR überaktiv ist, kann die Glutamat-Aufnahme abnehmen und das Risiko für Exzitotoxizität steigt.Dies ist ein entscheidender Aspekt, um zu verstehen, warum *Tribulus terrestris* in Modellen für Neuroinflammation und Hirnschäden untersucht wurde: Das Interesse gilt nicht nur dem Neuron, sondern auch dem glialen Kontext, der die Übertragung unterstützt oder verstärkt. Diese Überlegung ermöglicht es, den Energiestoffwechsel mit der Gesundheit neuronaler Netzwerke zu verknüpfen und zu verstehen, warum ein Glutamat-Überschuss problematisch ist. Für den Leser ist der Schlüssel einfach: mTOR reguliert nicht nur das Wachstum, sondern auch das synaptische Ökosystem. In diesem Ökosystem entscheiden die Astrozyten, wie viel Erregung im Schaltkreis verbleibt und wie viel schnell abgebaut wird. Die korrekte Funktion von GLT-1 und GLAST ist essenziell, um schädliche Glutamat-Ansammlungen im extrazellulären Raum zu vermeiden. Diese Regulation ist ein wichtiger Baustein der Neuroprotektion und der zerebralen Physiologie.*Tribulus* wird hier als möglicher Modulator für ein stabileres und weniger exzitotoxisches Milieu betrachtet, doch dies ist noch eine Hypothese, die am Menschen überprüft werden muss. Die gliale Komplexität macht das Bild zwar reichhaltiger, aber auch schwieriger in die klinische Praxis zu übertragen. Übersichtsarbeiten zu Astrozyten und mTOR bestätigen, dass dieser Signalweg sowohl eine physiologische als auch eine pathologische Rolle spielt [50][51][52][53].

12. GLUTAMAT, OREXIN UND LOCUS COERULEUS: DER SCHALTKREIS FÜR AROUSAL UND ANGST

Wenn das Gehirn von Ruhe auf Alarmbereitschaft umschaltet, nutzt es ein Netzwerk aus Glutamat, Orexin und dem Locus coeruleus. Glutamat ist der wichtigste erregende Neurotransmitter des Gehirns, also ein Botenstoff, der Neuronen aktiviert. In diesem Netzwerk aktiviert Glutamat die Zellen, die Orexin produzieren.Orexin ist ein Neuropeptid (ein kleines Molekül, das Neuronen reguliert) und bereitet den Körper auf Handlungen vor. Auf diese Weise unterstützt es die Systeme, die Wachheit, Aufmerksamkeit und die Reaktion auf Bedrohungen steuern. Der Locus coeruleus hingegen nutzt Noradrenalin als Botenstoff und erhöht das Arousal (den allgemeinen Wachheitszustand).Diese Achse hilft dabei, einige Daten zu *Tribulus terrestris* zu verstehen. Veränderungen im Stoffwechsel und im Energiehaushalt können sich nämlich auf die Stressreaktion auswirken. Diese Daten deuten jedoch nicht auf eine direkte klinische Wirkung der Pflanze auf Angst oder Furcht hin.Studien zeigen, dass Orexin auf lokales Glutamat und auf Nicht-NMDA-Glutamatrezeptoren reagiert. Diese Rezeptoren leiten das Nervensignal schnell weiter [56,57].Andere Arbeiten deuten darauf hin, dass der Locus coeruleus monosynaptische glutamaterge Signale empfängt, also direkte Signale zwischen zwei Neuronen. Diese Signale können ihn schnell aktivieren. Auch Bahnen aus dem periaquäduktalen Grau, einem mit Verteidigungsmechanismen verbundenen Areal, können diesen Zustand verstärken [58,59].Die Verbindung zu *Tribulus terrestris* bleibt daher indirekt. Forscher untersuchen den Phytokomplex (die Gesamtheit der Pflanzenstoffe) als möglichen Regulator vorgelagerter Stoffwechsel- und chemischer Prozesse. Es handelt sich hingegen nicht um einen gezielten Eingriff in Arousal oder Angst. Der Mechanismus hat biologische Grundlagen, aber es bedarf noch Bestätigungen am Menschen [2,24,25]. Die Signalkette umfasst einige deutliche Schritte, die die Rolle jedes Elements verdeutlichen:

- Glutamat aktiviert die Orexin-produzierenden Neuronen und verstärkt deren Signal.
- Orexin bereitet die Schaltkreise vor, die Wachheit und Aufmerksamkeit regulieren.

- Der Locus coeruleus nutzt Noradrenalin, um den Alarmzustand zu verbreiten.
- Angst kann länger anhalten, wenn dieses Netzwerk übermäßig aktiv bleibt.

Dieser Schaltkreis zeigt, wie ein exzitatorisches Signal Wachheit, Aufmerksamkeit und eine Abwehrreaktion hervorrufen kann. Die folgenden drei Schritte erläutern, wie sich Glutamat, Orexin und der Locus coeruleus gegenseitig aktivieren und unterstützen.

12.1 Glutamat und Orexin: der erste Verstärker des Arousals

Glutamat ist der wichtigste erregende Neurotransmitter im zentralen Nervensystem. Er ist zudem eines der bedeutendsten Signale zur Aktivierung orexinerger Neuronen, also jener Nervenzellen, die Orexin produzieren. Wenn das glutamaterge Signal zunimmt, werden diese Neuronen aktiver. Auf diese Weise können sie in kurzer Zeit das gesamte Arousal-Netzwerk koordinieren.Dieser Mechanismus wandelt eine einfache erregende Information in einen Zustand diffuser Aktivität im Gehirn um. Im Kontext von *Tribulus terrestris* hilft dies zu verstehen, wie sich Veränderungen des Stoffwechsels auf die Wachheit auswirken können. Dieselben Veränderungen können auch Auswirkungen auf die Stressreaktion haben.Glutamat agiert jedoch nicht allein. Es kommuniziert mit dem orexinergen System sowie mit dem noradrenergen System, das Noradrenalin als Botenstoff nutzt. So entsteht ein Kreislauf, der Energie, Verhalten und Abwehr miteinander verbindet. Dieser Schritt hilft dabei, den Phytokomplex in einem neurophysiologischen Rahmen zu betrachten, also in Bezug auf die Funktionen des Nervensystems. Er erlaubt es jedoch nicht, *Tribulus* eine direkte Wirkung auf Glutamat beim Menschen zuzuschreiben. Die Daten bieten daher eine interessante biologische Grundlage, aber keinen endgültigen klinischen Beweis.Der Mechanismus zeigt zudem, dass das Gehirn Glutamat als schnelles Signal nutzt, um den Körper vorzubereiten. Er erklärt auch, warum eine Veränderung bei einem Neurotransmitter weitreichende Auswirkungen auf das Verhalten haben kann. *Tribulus* muss daher innerhalb komplexer Netzwerke untersucht werden und nicht als einzelner Hebel. Die Komplexität des Schaltkreises macht die Daten zwar interessanter, aber auch schwieriger zu erklären. Grundlagenarbeiten bestätigen den Dialog zwischen Glutamat, Orexin und Arousal eindeutig [56][57][58][59].

12.2 Locus coeruleus, Angst und Generalisierung der Abwehrreaktion

Der Locus coeruleus reguliert nicht nur den Wachzustand, sondern ist auch an Angst und emotionalem Lernen beteiligt. Wenn er orexinerge und glutamaterge Signale empfängt, erhöht er die Freisetzung von Noradrenalin. Dadurch werden Wachsamkeit, „Freezing“ (defensive Immobilität) und die Konsolidierung aversiver Erinnerungen wahrscheinlicher. Dieser Schaltkreis hilft zu verstehen, wie das Gehirn eine Bedrohung in eine stabile Abwehrreaktion umwandelt. Im Fall von *Tribulus terrestris* haben einige präklinische Studien Schaltkreise untersucht, die diesem Netzwerk sehr nahestehen. Die Daten deuten auf eine mögliche Wirkung auf die Neuroinflammation und die Stressresistenz hin. Neuroinflammation bezeichnet die Aktivierung entzündlicher Prozesse im Nervengewebe. Resilienz hingegen beschreibt die Fähigkeit, sich an Stress anzupassen. Diese Ergebnisse zeigen jedoch keinen direkten Zusammenhang zwischen *Tribulus* und Angst. Sie dienen eher dazu, das Arousal in einen breiteren Kontext einzuordnen. Der Locus coeruleus ist ein zentraler Knotenpunkt, da er Aufmerksamkeit, emotionales Gedächtnis und körperliche Reaktion miteinander verbindet. Deshalb ist er sowohl wissenschaftlich als auch informativ von großer Bedeutung. Er zeigt auch, wie ein metabolisches Signal die Systeme erreichen kann, die Angst regulieren. Wenn der Schaltkreis überaktiv bleibt, kann zu viel Noradrenalin Abwehrreaktionen verstärken, die für den jeweiligen Kontext unangemessen sind. Die Regulierung dieser Achse ist daher ein heikler und wichtiger Prozess. *Tribulus* wird bestenfalls als möglicher Regulator weiter oben in der Signalkette untersucht, nicht als Behandlung für Angst. Diese Unterscheidung verhindert, dass die Grenzen der heute verfügbaren Daten überschritten werden. Die Studien zum Locus coeruleus und zur Angst bestätigen die Brücke zwischen Wachsamkeit und defensivem Gedächtnis [44][45][58][46].

12.3 Tribulus terrestris und Angststörungen: Was plausibel ist und was nicht

Einige Leser suchen nach Tribulus terrestris bei Angstzuständen, Stress oder Unruhe. Es ist jedoch notwendig, sorgfältig zwischen biologischer Plausibilität und klinischer Anwendung zu unterscheiden. Die Glutamat-Orexin-Locus-coeruleus-Schaltkreise regulieren teilweise die Wachsamkeit und die Abwehrreaktion. Wenn diese überaktiv werden, können sie Hyperarousal und eine erhöhte Stressreaktivität begünstigen. Hyperarousal ist ein Zustand übermäßiger Aktivität des Nervensystems. Aus diesen Daten ergibt sich das Interesse an Tribulus als möglichem Regulator bestimmter neurophysiologischer Knotenpunkte.Es gibt jedoch keine ausreichenden Beweise, um es als Behandlung für Angststörungen einzusetzen. Die verfügbaren Daten sind weiterhin präklinisch und stützen keine therapeutischen Versprechen. Tribulus ist daher kein Anxiolytikum. Es handelt sich um einen Phytokomplex, der in Modellen untersucht wird, in denen sich Stress und Neuroinflammation auf molekularer Ebene verändern. Der Abstand zwischen diesen Ergebnissen und der klinischen Anwendung am Menschen bleibt groß. Das Thema erfordert weitere Studien, lässt aber keine schnellen Schlussfolgerungen zu.Dieser Text beantwortet eine häufige Frage und wahrt die durch die Daten gebotene Vorsicht. Hier ist es wesentlich, zwischen plausiblen Wirkungen und möglichen klinischen Anwendungen zu unterscheiden. Das Gehirn ist ein sehr komplexes System und bietet keine Abkürzungen, die für jeden gültig sind. Tribulus kann daher Teil der wissenschaftlichen Debatte sein, jedoch nicht Teil einfacher Versprechen. Auch die aktuellsten Arbeiten zur Angst stützen keine direkte klinische Anwendung der Pflanze [44][45][57][46].

13. NORADRENALIN UND CRH

Die Stressreaktion beginnt, wenn ein Alarmsignal den Nucleus paraventricularis erreicht, einen Bereich des Hypothalamus. Dieser Bereich empfängt verschiedene Reize und koordiniert die interne Reaktion des Körpers. Hier kann Noradrenalin die Neuronen aktivieren, die CRH produzieren, die Abkürzung für Corticotropin-Releasing-Hormon. Das Gehirn wechselt somit von der Wachsamkeit zu einem hormonellen Signal, das den Körper vorbereitet.Dieser Knotenpunkt verbindet das Arousal (den allgemeinen Wachzustand) mit dem Signalweg, der Hypophyse und Nebennieren einbezieht. Im Fall von *Tribulus terrestris* hilft dies dabei, die Hypothesen zu Stress und Anpassung einzuordnen. Es beweist jedoch keinen direkten Effekt der Pflanze auf dieses System. Man muss zwischen einer möglichen Unterstützung bei der Anpassung und einer tatsächlichen pharmakologischen Wirkung auf die Stressachse unterscheiden.Studien haben diesen zweiten Effekt noch nicht mit Sicherheit nachgewiesen. Die verfügbaren Daten ordnen den Phytokomplex (die Gesamtheit der Inhaltsstoffe der Pflanze) in ein sehr komplexes Netzwerk ein. In diesem Netzwerk regulieren sich Noradrenalin, Hypothalamus und Hormone gegenseitig.Die Basisdaten zeigen, dass Noradrenalin im Hypothalamus nicht allein agiert. Es ist Teil eines Netzwerks, das Reiz- und Anpassungssignale vereint. Einige experimentelle Studien deuten darauf hin, dass seine Aktivität im PVN, dem Nucleus paraventricularis, die Stressreaktion fördern kann [60]. Andere Untersuchungen zeigen, dass Alpha-1- und Alpha-2-adrenerge Rezeptoren dabei helfen, den Output des Systems zu regulieren [61].Die Reaktion funktioniert also nicht wie ein einfacher Schalter. Der PVN empfängt Daten aus autonomen Schaltkreisen, von Emotionen und Stoffwechselsignalen. Dann wandelt er diese in eine gut koordinierte und zeitlich begrenzte Reaktion um. Die Noradrenalin-Signalwege aktivieren das CRH und regulieren die Stärke und Dauer des Signals. Das System kann so auf die bestmögliche Weise auf den Reiz reagieren.Für *Tribulus terrestris* bietet dieses Schema lediglich eine Grundlage zur Bewertung der Hypothesen. Der Phytokomplex muss in Anpassungsprozessen untersucht werden, ohne dabei auf einen direkten hormonellen Effekt zu schließen. Diese Achse kann dabei helfen, mögliche Auswirkungen auf Energie, Erholung und die psychophysische Stressreaktion einzuordnen. Es bleibt daher unerlässlich, zwischen einem möglichen Mechanismus und einem tatsächlichen gesundheitlichen Nutzen zu unterscheiden. Um die folgenden Schritte besser nachvollziehen zu können, ist es hilfreich, sich diese

Punkte zu merken:

- Noradrenalin kann die Aktivierung von CRH im Nucleus paraventricularis fördern.
- CRH ist das erste hormonelle Signal der Stressreaktion.
- Der Schaltkreis verbindet Wachsamkeit, autonomes System und Hormonachse.
- Seine Aktivität hängt auch von emotionalen und metabolischen Signalen ab.

Der erste Schritt besteht darin zu verstehen, wie Noradrenalin einen Alarm in ein Signal des Hypothalamus umwandelt. Dieses Signal aktiviert das CRH. Anschließend muss untersucht werden, wie dieser Schaltkreis in die umfassendere Stressreaktion des Körpers eingebunden ist.

13.1 Noradrenalin und CRH: Wie der PVN die Stressreaktion einleitet

Der Nucleus paraventricularis des Hypothalamus wandelt den Alarmzustand in ein hormonelles Signal um. Wenn Noradrenalin den PVN erreicht, aktiviert es die Neuronen, die CRH produzieren. Damit beginnt der Signalweg, der zunächst die Hypophyse und anschließend die Nebennieren einbezieht. Dieser Schritt verbindet das Arousal (den allgemeinen Wachzustand) mit der HPA-Achse, also der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse.
Diese Brücke hilft dabei, die Hypothesen zu *Tribulus terrestris* im Zusammenhang mit Stress, Entzündungen und Anpassungsprozessen zu interpretieren. Sie beweist jedoch nicht, dass die Pflanze beim Menschen direkt auf das CRH einwirkt. Sie beschreibt vielmehr den Rahmen der Mechanismen, die der hormonellen Reaktion vorausgehen. Zudem arbeitet der PVN nicht isoliert. Er integriert Signale aus dem Stoffwechsel, dem autonomen Nervensystem und den Emotionen. Die Stressreaktion geht daher über die bloße Aktivität der Nerven hinaus. Wenn das System gut funktioniert, ist die Alarmbereitschaft nützlich und zeitlich begrenzt. Wenn sich die Kontrolle verändert, kann die Reaktion zu intensiv oder unkoordiniert ausfallen. Dieser Prozess zeigt, wie ein Bedrohungssignal eine geordnete Abfolge hormoneller Ereignisse auslöst. Das CRH markiert somit den Übergang zwischen dem Nervensystem und dem endokrinen System (dem Netzwerk, das Hormone produziert). Sobald das CRH aktiviert ist, kann sich die Reaktion auf den gesamten Körper ausweiten. Die Verbindung zwischen Noradrenalin und CRH ist daher zentral für die Physiologie von Stress. Dies zu verstehen, verhindert allzu einfache Interpretationen der möglichen Zusammenhänge zwischen der Pflanze und den Anpassungssystemen. Einige Grundlagenforschungen zum PVN und zu den CRH-Neuronen bestätigen diese noradrenerge Brücke [60][47][49][61].

13.2 HPA-Achse, Cortisol und negative Rückkopplung: Die Kontrolle von Stress

Die HPA-Achse leitet die Stressreaktion ein, trägt aber auch dazu bei, sie nach Abklingen der Bedrohung zu stoppen. Das am Ende dieses Signalwegs produzierte Cortisol übt eine Kontrollfunktion aus, die das System reguliert – ein sogenanntes negatives Feedback. Es wirkt auf den Hypothalamus und die Hypophyse und reduziert die Freisetzung von CRH und ACTH. Wenn das System einwandfrei funktioniert, kehrt der Körper zur Homöostase (inneres Gleichgewicht) zurück. Hält der Stress jedoch über einen längeren Zeitraum an, kann sich diese Bremse verändern und an Präzision verlieren. Dies erklärt, warum die Reaktion kurz und gut reguliert bleiben muss. Im Fall von *Tribulus terrestris* beziehen sich die Hypothesen auf die Anpassung an Stress. Sie deuten nicht auf eine direkte Wirkung auf das Cortisol hin. Der Körper nutzt dieses Hormon, um zu reagieren und eine zu lang anhaltende Reaktion zu begrenzen. Dies ist daher ein zentraler Punkt in der Physiologie von Stress. Wenn die Kontrolle an Wirksamkeit verliert, kann das System länger als nötig in Alarmbereitschaft bleiben. Dieser Zustand kann Auswirkungen auf den Stoffwechsel, die Immunabwehr und das allgemeine Wohlbefinden haben. Die Hypothesen zu dieser Pflanze deuten auf mögliche Effekte auf Anpassungsprozesse hin, nicht auf eine gesicherte Heilmethode. Es ist daher entscheidend, zwischen einer möglichen Kontrollfunktion und einer nachgewiesenen Therapie zu unterscheiden. Dieser Rahmen hilft dabei, die Rolle der HPA-Achse klarer und realistischer zu verstehen. Einige Studien zu diesem Mechanismus zeigen, wie langfristiger Stress die Kontrolle der Reaktion verändern kann [62][63][64][65].

14. CRH UND CORTISOL: WIE STRESS ZU EINER HORMONELLEN REAKTION WIRD

Wenn das Gehirn eine Bedrohung wahrnimmt, löst es eine präzise Abfolge von Reaktionen im Körper aus. Zunächst setzt der Hypothalamus CRH frei, das Corticotropin-Releasing-Hormon. Das CRH aktiviert die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse, die das Gehirn mit den Nebennieren verbindet. Auf diese Weise wird das Nervensignal in eine endokrine (hormonbasierte) Antwort umgewandelt, an der mehrere Organe beteiligt sind.Anschließend setzt der Hypophysenvorderlappen ACTH frei, das adrenocorticotrope Hormon. Dieses Hormon regt die Nebennierenrinde dazu an, Cortisol zu produzieren, das wichtigste stressbedingte Glucocorticoid. Cortisol stellt mehr Energie bereit, reguliert Entzündungsprozesse und hilft dem Körper, schnell zu reagieren. Seine Wirkung hängt von der Menge, der Dauer des Signals und der Rückkehr zum Gleichgewicht ab.Diese Kette hilft auch dabei, die mögliche Rolle von Tribulus terrestris zu verstehen, ohne dabei zu vorschnelle Schlüsse zu ziehen. Die Pflanze reguliert Cortisol nicht direkt und ist kein eigenständiges Mittel gegen Stress. Sie muss in einem System untersucht werden, in dem Anpassung, Energienutzung, Entzündungen und Hormone wechselseitig aufeinander einwirken.Einige Studien zu Saponinen (aktiven Pflanzenstoffen) und Phytokomplexen deuten auf mögliche Wirkungen hin. Diese Effekte betreffen oxidativen Stress, zelluläre Signalwege und die Anpassungsfähigkeit [2][3]. Die Daten belegen jedoch keinen klinischen Nutzen für die HPA-Achse (Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse). Sie erklären jedoch, warum dieses Thema in der Forschung weiterhin auf Interesse stößt.Um die Stressreaktion zu verstehen, muss man drei miteinander verbundene Schritte unterscheiden. Das CRH startet die Kette, das ACTH verstärkt sie und das Cortisol vervollständigt die Reaktion. Wenn das System gut funktioniert, reagiert der Körper effektiv und für eine begrenzte Zeit. Hält der Reiz jedoch lange an, bleibt der Körper unter einem kontinuierlichen biologischen Druck.Dieser Zustand kann sich auf den Schlaf, die Immunabwehr, den Energiehaushalt und die Stimmung auswirken. In diesem Kontext wird Tribulus im Rahmen umfassenderer Prozesse untersucht, nicht als isolierte Lösung. Studien zu Stress zeigen tatsächlich einen engen Zusammenhang zwischen Gehirn, endokrinen Drüsen und anderen Geweben [62][63][64][65][66].

Dieser Abschnitt erläutert, wie ein Stresssignal zu einer umfassenden hormonellen Reaktion wird. Die beiden Schritte trennen den Start der Kette von ihrer endgültigen Wirkung auf den Körper.

14.1 CRH, ACTH und Cortisol: Die endokrine Stresskaskade

Im Fall von Tribulus terrestris hilft diese Kette dabei, die biologischen Hypothesen zu bewerten. Sie beweist jedoch keine direkten Auswirkungen auf das Cortisol. Die Studien untersuchten vor allem Saponine und Phytosterole (von Pflanzen produzierte Sterole). Diese Substanzen könnten sich auf die Anpassung, Entzündungen und oxidativen Stress (Schäden durch reaktive Moleküle) auswirken [2][3]. Diese Effekte belegen jedoch keine klinische Veränderung der HPA-Achse. Ein Nahrungsergänzungsmittel kann auf bestimmte Zellfunktionen einwirken, ohne die Hormone im Körper maßgeblich zu verändern. Deshalb muss man zuerst den physiologischen Prozess verstehen und dann seine möglichen Anwendungen bewerten. Das CRH ist das erste Glied der hormonellen Stressreaktion. Es gelangt in das hypophysäre Pfortadersystem (ein Netzwerk aus Gefäßen zwischen Hypothalamus und Hypophyse). Anschließend erreicht es den Hypophysenvorderlappen und setzt ACTH frei. Letzteres wirkt auf die Nebennierenrinde und stimuliert die Produktion von Cortisol. Das Cortisol überträgt dann das Anpassungssignal im gesamten Körper. Bei akutem Stress stellt es Energie bereit und reguliert kurzfristig viele Prozesse in den Organen. Die Stressreaktion ist daher kein isoliertes Ereignis, sondern eine gut koordinierte Kette. Auch der zeitliche Ablauf der Reaktion spielt eine zentrale Rolle. Das CRH erscheint zuerst, das ACTH übermittelt das Signal und das Cortisol vervollständigt die Kette. Wenn der Reiz endet, reduziert die Achse ihre Aktivität und kehrt zur Homöostase (inneres Gleichgewicht des Körpers) zurück. Bleibt die Aktivität hingegen hoch, kann das System schlechter funktionieren und ungünstige biologische Auswirkungen haben. Diese Sequenz hilft dabei, die Pflanze zu untersuchen, ohne sie als Abkürzung gegen

Stress zu betrachten. Die Hormonkette bleibt daher der Bezugspunkt für die Bewertung jedes möglichen Eingriffs natürlichen Ursprungs [62][63][64][65][66].

14.2 Cortisol und Immunsystem: Wenn Stress zu einem chronischen Faktor wird

Eine ununterbrochen beanspruchte HPA-Achse kann klinische Auswirkungen auf verschiedene Funktionen haben. Sie kann Schlafstörungen, Veränderungen im Energiehaushalt, Entzündungen und ein Nachlassen des allgemeinen Wohlbefindens begünstigen. Die Stressreaktion verknüpft somit die persönliche Erfahrung mit dem Risiko für chronische Erkrankungen. In diesem Zusammenhang wird Tribulus terrestris als Phytokomplex von möglichem Interesse untersucht. Seine Inhaltsstoffe können auf zelluläre Signalwege einwirken, die mit Oxidation, Entzündung und Anpassung in Verbindung stehen. Diese Daten belegen jedoch nicht, dass sie ein Cortisol-Ungleichgewicht korrigieren können [2][3]. Cortisol reguliert normalerweise auch die Immunabwehr. Es begrenzt den Überschuss an Zytokinen (Substanzen, die Entzündungen steuern) und hilft dabei, die HPA-Achse zu kontrollieren. Zudem hält es kurzzeitige Entzündungen in Schach. Es ist daher kein schädliches Hormon, sondern ein wesentlicher Bestandteil der Anpassungsreaktion. Probleme können entstehen, wenn Stress chronisch wird oder das Gewebe weniger auf Glucocorticoide anspricht. In solchen Fällen kann die Kontrolle der Abwehrkräfte nachlassen und Ungleichgewichte begünstigen, die über längere Zeit anhalten. Es ist daher Vorsicht geboten, um der Pflanze keine Wirkungen zuzuschreiben, die in Studien nicht belegt wurden. Die Forschung beschreibt vor allem mögliche biologische Wirkungsweisen und traditionelle Anwendungen. Sie beweist keinen gesicherten Einsatz bei Immun- oder endokrinen Erkrankungen. Das Verhältnis zwischen Cortisol und Immunität bleibt jedoch bedeutsam. Wenn chronischer Stress die Signale zwischen Gehirn und Hormonen verändert, kann dies den Körper anfälliger machen. Der Phytokomplex bleibt daher ein Forschungsgegenstand und keine definierte Therapie. Sein Interesse gilt bestimmten Anpassungsmechanismen, die in ein umfassenderes System eingebettet sind [64][65].

15. QUADRO COMPARATIVO E SINTESI DELLE EVIDENZE

Diese Zusammenfassung ordnet die in der bereitgestellten Bibliografie enthaltenen Nachweise. Sie unterscheidet zwischen klinischen Studien und vorläufigen Daten sowie Ergebnissen, die noch bestätigt werden müssen.

Sintesi delle evidenze scientifiche

Publikationsjahr	Untersuchungsbereich	Was die Studien zeigen
2014	Sexuelle Funktion der Frau	Mehrere klinische Studien deuten auf mögliche Vorteile für das Verlangen und die Werte der sexuellen Funktion hin [4]
2017	Männliche Fruchtbarkeit	Die Daten sind uneinheitlich und bestätigen keine überzeugenden klinischen Auswirkungen auf Testosteron und Spermienparameter [16]
2019	Oxidativer Stress und Entzündungen	Experimentelle Modelle deuten auf eine mögliche biologische Schutzwirkung hin, doch eine direkte klinische Bestätigung fehlt [29]
2022	Sport und Regeneration	Studien an Sportlern zeigen variable Ergebnisse hinsichtlich biologischer Werte und Leistungsfähigkeit [13]
2023	Stoffwechsel und Lipide	Die Daten deuten auf eine mögliche Wirkung auf Stoffwechselwege hin, stammen jedoch hauptsächlich aus präklinischen Studien [18]
2025	Neuroinflammation	Ein Extrakt aus Tribulus terrestris zeigte in präklinischen Untersuchungen Anzeichen für einen Schutz vor Neuroinflammation [24]
2026	Erektile Dysfunktion	Eine Meta-Analyse, die mehrere randomisierte klinische Studien zusammenfasst, deutet auf eine Verbesserung der erektilen Funktion hin [6]

16. SINTESI EDITORIALE E CONCLUSIONI

REDAKTIONELLE EINORDNUNG DER EVIDENZ

In den von uns untersuchten Studien beziehen sich die solidesten Belege auf die sexuelle Funktion. Wir haben noch vorläufige Daten zu Stoffwechsel, Nervensystem und Entzündungen gefunden. Die klinischen Studien sind konsistenter bei der Bewertung von Verlangen, sexueller Funktion und Aspekten des Wohlbefindens. Die Daten zum Testosteron erschienen uns hingegen weniger eindeutig und variabler. Bei der Durchsicht der experimentellen Studien haben wir festgestellt, dass Tribulus terrestris auf oxidativen Stress, Entzündungen und das Zellgleichgewicht wirken könnte.

Die von uns festgestellten Einschränkungen betreffen vor allem die variablen Extrakte, die unterschiedlichen Dosierungen und die kurze Dauer der Studien. Zudem stammen viele Daten zu den Wirkmechanismen aus Tier- oder Zellmodellen. Auch wenn uns die Daten interessant erschienen, sind wir der Ansicht, dass bei der klinischen Anwendung Vorsicht geboten ist. Wir haben festgestellt, dass die Ergebnisse nicht immer bestätigt werden und zwischen verschiedenen Gruppen variieren können.

ABSCHLIESSENDE KRITISCHE ANMERKUNG

Die von uns geprüften Belege mahnen zu mehr Vorsicht, als dies in vielen für die breite Öffentlichkeit bestimmten Zusammenfassungen der Fall ist. Die

solidesten Daten deuten auf eine mögliche Rolle bei einigen Aspekten der sexuellen Funktion hin. Viele andere Hypothesen basieren jedoch auf Studien an Zellen, Tieren oder Extrakten, die nur schwer miteinander vergleichbar sind. Es besteht daher weiterhin eine Lücke zwischen dem im Labor beobachteten biologischen Effekt und dem tatsächlichen Nutzen für den Menschen. Wir haben festgestellt, dass in den Studien unterschiedliche Dosierungen, Produkte, Gruppen und Endpunkte verwendet werden. Diese Unterschiede erschweren es uns, eine einheitliche Zusammenfassung zu erstellen.Eine weitere Einschränkung, die wir festgestellt haben, betrifft den Übergang von biologischen Mechanismen zu tatsächlichem Nutzen. AMPK, mTOR, Stickstoffmonoxid, Orexin und Cortisol bilden miteinander zusammenhängende Signalwege. Dennoch bleiben Studien zu diesen Signalwegen oft weit von der klinischen Praxis entfernt. Ein möglicher Mechanismus allein beweist noch keinen therapeutischen Effekt. Zudem ist uns nicht immer klar, welcher Bestandteil des Produkts den Nutzen bewirkt. Die Wirkung kann von der gesamten Pflanze, einem Teil des Extrakts oder anderen Faktoren abhängen. Aus diesem Grund halten wir die Qualität der in den Studien verwendeten Methoden für entscheidend.Zu den von uns identifizierten Hauptbeschränkungen gehören kleine Stichproben, kurze Studiendauer, wenige Langzeitdaten und uneinheitliche Produkte. Diese Faktoren machen die Schlussfolgerungen weniger belastbar und erlauben es uns nicht, definitive Empfehlungen auszusprechen. Die korrekteste Zusammenfassung muss daher vorsichtig bleiben und sich eng an die Belege halten. *Tribulus terrestris* verfügt über eine reale wissenschaftliche Grundlage und eine wachsende Anzahl an Studien. Dennoch bleiben viele wichtige Fragen offen. Wir sind der Ansicht, dass eine Bewertung auf Basis der Belege erfolgen muss, ohne den vorläufigen Daten ein zu großes Gewicht beizumessen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND REDAKTIONELLE ZUSAMMENFASSUNG

Tribulus terrestris bleibt unserer Ansicht nach eine Pflanze von großem Interesse für die Forschung. Bei der Lektüre der hier zusammengefassten Studien zeigt sich, wie ihre Untersuchung Tradition, Ernährung, Körperfunktionen und experimentelle Forschung miteinander verbindet. Wir betrachten sie nicht als ein Mittel mit nur einer einzigen Wirkung, sondern als Phytokomplex (eine Gesamtheit aktiver Substanzen). Ihre Wirkung variiert je nach Qualität des Extrakts, den enthaltenen Substanzen und dem jeweiligen Kontext. Daher sind wir der Meinung, dass sie nicht nur als Hormonstimulans beschrieben werden sollte. Die Belege zeigen uns tatsächlich ein breiteres und noch nicht vollständig geklärtes Bild.Im klinischen Bereich beziehen sich die nützlichsten Daten, die wir gefunden haben, vor allem auf die sexuelle Funktion. Einige Studien an Frauen berichten von Vorteilen für das Verlangen, die Erregung und den Grad der Zufriedenheit. Bei Männern hingegen haben wir variablere Ergebnisse gesehen, und der Nutzen zeigt sich nicht immer. Testosteron, das oft im Mittelpunkt der Werbung steht, steigt in den von uns untersuchten Studien nicht zuverlässig und konstant an. Die Pflanze erscheint uns daher nicht als ein für alle geeignetes Heilmittel. Sie könnte jedoch in sorgfältig ausgewählten Fällen eine Hilfe bieten.Die von uns gesichtete Forschung betrachtet auch mögliche Auswirkungen auf den Stoffwechsel, oxidativen Stress, Entzündungen und den Schutz von Neuronen. Oxidativer Stress bezeichnet einen Überschuss an reaktiven Molekülen, die Zellen schädigen können. Signalwege wie AMPK, mTOR, Stickstoffmonoxid, Orexin und Cortisol können einen Teil der beobachteten Effekte erklären. Viele Daten stammen jedoch aus Studien an Zellen oder Tieren. Wir können sie daher nicht unmittelbar für Therapieentscheidungen am Menschen heranziehen. Diese Arbeiten belegen keine Therapie, sondern weisen auf biologische Hypothesen hin, die weiter erforscht werden müssen.Tribulus terrestris zeigt uns, wie die moderne Wissenschaft eine seit Jahrhunderten verwendete Pflanze untersuchen kann. Die von uns analysierten Belege haben nicht alle das gleiche Gewicht: Einige sind stark, andere schwach oder unsicher. Das Thema erfordert daher eine seriöse Betrachtung, die mit Stoffwechsel, Ernährung und Hormonregulation verknüpft ist. Wir sehen die Pflanze weiterhin im Zentrum eines lebendigen Forschungsfeldes. Sie hilft uns auch, die Verbindung zwischen antiker Anwendung und moderner Forschung zu verstehen. Wir dürfen jedoch nützliche Hypothesen nicht mit gesicherten Daten verwechseln.

Aggiornato al 17/11/2026. Questo contenuto riflette una sintesi divulgativa

delle evidenze scientifiche al momento della pubblicazione e non sostituisce il parere medico.

17. TRANSPARENZ UND WISSENSCHAFTLICHE VERANTWORTUNG

Künstliche Intelligenz wurde ausschließlich als Hilfsmittel zur redaktionellen und dokumentarischen Unterstützung eingesetzt. Sämtliche Inhalte, Interpretationen, Literaturangaben und Schlussfolgerungen wurden vom Autor geprüft, überarbeitet und freigegeben, der die volle wissenschaftliche Verantwortung dafür übernimmt.

Das Manuskript wurde zudem vor der Veröffentlichung einem unabhängigen Peer-Review-Verfahren unterzogen.

Um größtmögliche Transparenz zu gewährleisten, ist die vollständige Chronologie des Artikels, einschließlich der Daten von Einreichung, Überarbeitung, Annahme und Veröffentlichung sowie der Angaben zum Peer-Review-Verfahren, auf der eigenen Seite zur Artikelhistorie verfügbar.

18. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] **Herbs at a Glance: Tribulus**
2024
NIH
DOI: https://www.nccih.nih.gov/health/providers/digest/herbs-to-know-about/tribulus

[2] **Promising phytopharmacology, nutritional potential, health benefits, and traditional usage of Tribulus terrestris L. herb**
Saeed et al., 2024
Heliyon
DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25549

[3] **A review of traditional pharmacological uses, phytochemistry, and pharmacological activities of Tribulus terrestris**
Zhu et al., 2017
Chemistry Central Journal
DOI: https://doi.org/10.1186/s13065-017-0289-x

[4] **Tribulus terrestris for treatment of sexual dysfunction in women: randomized double-blind placebo-controlled study**
Kamenov Z et al., 2014
Advances in Sexual Medicine
DOI: https://doi.org/10.1186/2008-2231-22-40

[5] **Evaluation of the efficacy and safety of Tribulus terrestris in male sexual dysfunction—A prospective, randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial**
Kamenov et al., 2017
Maturitas
DOI: https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2017.01.011

[6] **Tribulus terrestris for management of patients with erectile dysfunction: a systematic review and meta-analysis of randomized trials**
Suharyani et al., 2026
International Journal of Impotence Research
DOI: https://doi.org/10.1038/s41443-025-01086-7

[7] **A systematic review and meta-analysis on the effectiveness and safety of Tribulus Terrestris in male fertility problems: examining semen parameters and erectile function**
Maleki-Saghooni et al., 2020
Italian Journal of Gynaecology and Obstetrics
DOI: https://doi.org/10.36129/jog.32.04.04

[8] **Testosterone Boosters Fact Sheet for Health Professionals**
2024
NIH
DOI: https://ods.od.nih.gov/factsheets/TestosteroneBoosters-HealthProfessior

[9] **Effects of Tribulus (Tribulus terrestris L.) Supplementation on Erectile Dysfunction and Testosterone Levels in Men—A Systematic Review of Clinical Trials**
Vilar Neto et al., 2025
Nutrients
DOI: https://doi.org/10.3390/nu17071275

[10] **Effects of Tribulus terrestris saponins on exercise performance in overtraining rats and the underlying mechanisms**
Yin et al., 2016
Canadian Journal of Physiology and Pharmacology
DOI: https://doi.org/10.1139/cjpp-2016-0086

[11] **Tribulus terrestris extracts alleviate muscle damage and promote anaerobic performance of trained male boxers and its mechanisms: Roles of androgen, IGF-1, and IGF binding protein-3**
Ma et al., 2017
Journal of Sport and Health Science
DOI: https://doi.org/10.1016/j.jshs.2015.12.003

[12] **Effect of Tribulus terrestris L. supplementation on Exercise-Induced Oxidative Stress and Delayed Onset Muscle Soreness Markers: A Pilot Study**
Ataei et al., 2023
Journal of Dietary Supplements
DOI: https://doi.org/10.1080/19390211.2022.2120147

[13] **6-Week Supplementation with Tribulus terrestris L. to Trained Male CrossFit® Athletes on Muscle, Inflammation, and Antioxidant Biomarkers: A Randomized, Single-Blind, Placebo-Controlled Trial**
Fernández-Lázaro et al., 2022
International Journal of Environmental Research and Public Health
DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph192316158

[14] **Clinical Assessment of Tribulus terrestris Extract in the Treatment of Female Sexual Dysfunction**
Gama et al., 2014
Clinical Medicine Insights: Women's Health
DOI: https://doi.org/10.4137/CMWH.S17853

[15] **Effect of Tribulus Terrestris in the Treatment of Female Sexual Dysfunction and Clitoral Vascularization. Results of a Randomized Study Comparing Two Different Dosage Regimes**
Vale et al., 2021
Journal of Sex & Marital Therapy
DOI: https://doi.org/10.1080/0092623X.2021.1938764

[16] **Prospective Analysis on the Effect of Botanical Medicine (Tribulus terrestris) on Serum Testosterone Level and Semen Parameters in Males with Unexplained Infertility**
Roaiah et al., 2017
Journal of Dietary Supplements
DOI: https://doi.org/10.1080/19390211.2016.1188193

[17] **Dioscin promotes autophagy by regulating the AMPK-mTOR pathway in ulcerative colitis**
Li et al., 2022
Immunopharmacology and Immunotoxicology
DOI: https://doi.org/10.1080/08923973.2022.2037632

[18] **Effect of Diosgenin on Nonalcoholic Fatty Liver Disease Induced by High-Fat Diet in Rats Through the mTOR/SREBP-1c/HSP60/MCAD/SCAD Signaling Pathway**
Chen SW et al., 2023
Zhongguo Zhong Yao Za Zhi, 2023, 48(19):5304-5314.
DOI: https://doi.org/10.19540/j.cnki.cjcmm.20230601.705

[19] **Dioscin Ameliorates Experimental Autoimmune Thyroiditis via the mTOR and TLR4/NF-kB Signaling**
Zhang et al., 2023
Drug Design, Development and Therapy
DOI: https://doi.org/10.2147/dddt.s410901

[20] **Dioscin Improves Pyroptosis in LPS-Induced Mice Mastitis by Activating AMPK/Nrf2 and Inhibiting the NF-kB Signaling Pathway**
Ran et al., 2020
Oxidative Medicine and Cellular Longevity
DOI: https://doi.org/10.1155/2020/8845521

[21] **Diosgenin ameliorates palmitic acid-induced lipid accumulation via AMPK/ACC/CPT-1A and SREBP-1c/FAS signaling pathways in LO2 cells**
Fang et al., 2019
BMC Complementary and Alternative Medicine
DOI: https://doi.org/10.1186/s12906-019-2671-9

[22] **Diosgenin Targets CaMKK2 to Alleviate Type II Diabetic Nephropathy through Improving Autophagy, Mitophagy and Mitochondrial Dynamics**
Zhong et al., 2023
Nutrients
DOI: https://doi.org/10.3390/nu15163554

[23] **Diosgenin prevents high-fat diet-induced rat non-alcoholic fatty liver disease through the AMPK and LXR signaling pathways**
Cheng et al., 2017
International Journal of Molecular Medicine
DOI: https://doi.org/10.3892/ijmm.2017.3291

[24] **Dietary Supplement With Tribulus terrestris L. Extract Exhibits Protective Effects on Neuroinflammation**
Gao et al., 2025
Molecular Nutrition & Food Research
DOI: https://doi.org/10.1002/mnfr.70006

[25] **Tribuli Fructus alleviates 1-methyl-4-phenyl 1,2,3,6-tetrahydropyridine (MPTP)-induced Parkinson's disease by suppressing neuroinflammation via JNK signaling**
Kim et al., 2024
Metabolic Brain Disease
DOI: https://doi.org/10.1007/s11011-024-01498-2

[26] **Supplementation with Tribulus Terrestris Extract Exhibits Protective Effects on MCAO Rats via Modulating Inflammation-Related Metabolic and Signaling Pathways**
Zhang et al., 2023
ACS Omega
DOI: https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06625

[27] **Neuroprotective Effect of Dioscin against Parkinson's Disease via Adjusting Dual-Specificity Phosphatase 6 (DUSP6)-Mediated Oxidative Stress**
Mao et al., 2022
Molecules
DOI: https://doi.org/10.3390/molecules27103151

[28] **Diosgenin reduces phosphodiesterase 3B (PDE3B) through AMP-activated protein kinase/ mechanistic target of rapamycin (AMPK/mTOR) signaling pathway to ameliorate streptozotocin-induced pancreatic b-cell apoptosis and dysfunction**
Ma et al., 2022
Bioengineered
DOI: https://doi.org/10.1080/21655979.2021.2023996

[29] **Tribulusterine Containing Tribulus terrestris Extract Exhibited Neuroprotection Through Attenuating Stress Kinases Mediated Inflammatory Mechanism: In Vitro and In Vivo Studies**
Ranjithkumar R et al., 2019
Neurochemical Research
DOI: https://doi.org/10.1007/s11064-019-02768-7

[30] **Inhibition of the AMPK/nNOS pathway for neuroprotection in stroke**
Khan et al., 2016
Neural Regeneration Research
DOI: https://doi.org/10.4103/1673-5374.179039

[31] **Anxiolytic and Antidepressant Effects of Tribulus terrestris Ethanolic Extract in Scopolamine-Induced Amnesia in Zebrafish: Supported by Molecular Docking Investigation Targeting Monoamine Oxidase A**
Bouabdallah et al., 2024
Pharmaceuticals
DOI: https://doi.org/10.3390/ph17091208

[32] **Synergistic effect of Celastrus paniculatus and Tribulus terrestris against chronic immobilisation stress-induced memory impairment, BDNF level and neuroinflammation**
Baraka et al., 2025
Journal of Applied Pharmaceutical Science
DOI: https://doi.org/10.7324/japs.2025.172799

[33] **Oxidative stress induces phosphorylation of neuronal NOS in cardiomyocytes through AMP-activated protein kinase (AMPK)**
Kar et al., 2015
Biochemical and Biophysical Research Communications
DOI: https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2015.02.113

[34] **AMP-activated protein kinase and nitric oxide regulate the glucose sensitivity of ventromedial hypothalamic glucose-inhibited neurons**
Murphy et al., 2009
American Journal of Physiology-Cell Physiology
DOI: https://doi.org/10.1152/ajpcell.00127.2009

[35] **Blocking a vicious cycle nNOS/peroxynitrite/AMPK by S-nitrosoglutathione: implication for stroke therapy**
Khan et al., 2015
BMC Neuroscience
DOI: https://doi.org/10.1186/s12868-015-0179-x

[36] **Reducing neuronal nitric oxide synthase (nNOS) expression in the ventromedial hypothalamus (VMH) increases body weight and blood glucose levels while decreasing physical activity in female mice**
Hirschberg et al., 2024
DOI: https://doi.org/10.1101/2024.05.15.594324

[37] **Endogenous Nitric Oxide Inhibits, Whereas Awakening Stimuli Increase, the Activity of a Subset of Orexin Neurons**
Yamakawa et al., 2018
Biological and Pharmaceutical Bulletin
DOI: https://doi.org/10.1248/bpb.b18-00633

[38] **Nitric Oxide Mediates Selective Degeneration of Hypothalamic Orexin Neurons through Dysfunction of Protein Disulfide Isomerase**
Obukuro et al., 2013
Journal of Neuroscience
DOI: https://doi.org/10.1523/jneurosci.0595-13.2013

[39] **A Functional Link between AMPK and Orexin Mediates the Effect of BMP8B on Energy Balance**
Martins et al., 2016
Cell Reports
DOI: https://doi.org/10.1016/j.celrep.2016.07.045

[40] **Orexin-A Infusion in the Locus Ceruleus Triggers Norepinephrine (NE) Release and NE-Induced Long-Term Potentiation in the Dentate Gyrus**
Walling et al., 2004
The Journal of Neuroscience
DOI: https://doi.org/10.1523/jneurosci.1587-04.2004

[41] **Orexin A activates locus coeruleus cell firing and increases arousal in the rat**
Hagan et al., 1999
Proceedings of the National Academy of Sciences
DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.96.19.10911

[42] **Morphological study of orexin neurons in the hypothalamus of the Long–Evans rat, with special reference to co-expression of orexin and NADPH-diaphorase or nitric oxide synthase activities**
Cheng et al., 2003
Neuroscience Research
DOI: https://doi.org/10.1016/s0168-0102(03)00026-9

[43] **Extracellular Calcium Contributes to Orexin-Induced Postsynaptic Excitation of the Rat Locus Coeruleus Neurons**
Kourosh-Arami et al., 2022
International Journal of Peptide Research and Therapeutics
DOI: https://doi.org/10.1007/s10989-022-10379-0

[44] **Orexin modulates behavioral fear expression through the locus coeruleus**
Soya et al., 2017
Nature Communications
DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-017-01782-z

[45] **Orexin/hypocretin system modulates amygdala-dependent threat learning through the locus coeruleus**
Sears et al., 2013
Proceedings of the National Academy of Sciences
DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1320325110

[46] **Properties and modulation of excitatory inputs to the locus coeruleus**
Barcomb et al., 2022
The Journal of Physiology
DOI: https://doi.org/10.1113/jp283605

[47] **Role of paraventricular nucleus projecting norepinephrine/epinephrine neurons in acute and chronic stress**
Flak et al., 2014
European Journal of Neuroscience
DOI: https://doi.org/10.1111/ejn.12587

[48] **Astrocytes Amplify Neuronal Dendritic Volume Transmission Stimulated by Norepinephrine**
Chen et al., 2019
Cell Reports
DOI: https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.11.092

[49] **Regulation of corticotropin releasing hormone neuronal network activity by noradrenergic stress signals**
Gouws et al., 2022
The Journal of Physiology
DOI: https://doi.org/10.1113/jp283328

[50] **Astrocytic Glutamate Uptake and Signaling as Novel Targets for Antiepileptogenic Therapy**
Peterson AR et al., 2020
Frontiers in Neurology. 2020;11:1006.
DOI: https://doi.org/10.3389/fneur.2020.01006

[51] **Physiological and Pathological Role of mTOR Signaling in Astrocytes**
Hochmuth et al., 2025
Neurochemical Research
DOI: https://doi.org/10.1007/s11064-024-04306-6

[52] **MTOR Promotes Astrocyte Activation and Participates in Neuropathic Pain through an Upregulation of RIP3**
Dong et al., 2025
Neurochemical Research
DOI: https://doi.org/10.1007/s11064-025-04341-x

[53] **SLC38A10 Regulate Glutamate Homeostasis and Modulate the AKT/TSC2/mTOR Pathway in Mouse Primary Cortex Cells**
Tripathi et al., 2022
Frontiers in Cell and Developmental Biology
DOI: https://doi.org/10.3389/fcell.2022.854397

[54] **Activation of glutamate transporters in the locus coeruleus paradoxically activates descending inhibition in rats**
Hayashida et al., 2010
Brain Research
DOI: https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.12.086

[55] **Genetic inactivation of mTORC1 or mTORC2 in neurons reveals distinct functions in glutamatergic synaptic transmission**
McCabe et al., 2020
eLife
DOI: https://doi.org/10.7554/elife.51440

[56] **Hypocretin/Orexin Excites Hypocretin Neurons via a Local Glutamate Neuron: A Potential Mechanism for Orchestrating the Hypothalamic Arousal System**
Li Y et al., 2002
Neuron. 2002;36(6):1169-1181.
DOI: https://doi.org/10.1016/s0896-6273(02)01132-7

[57] **Activation of Orexin Neurons by Non-NMDA Glutamate Receptors Evidenced by c-Fos Immunohistochemistry**
Eyigor O et al., 2010
Endocrine. 2010;37(1):167-172.
DOI: https://doi.org/10.1007/s12020-009-9284-x

[58] **Monosynaptic Glutamatergic Activation of Locus Coeruleus and Other Lower Brainstem Noradrenergic Neurons by C1 Cells in Mice**
Holloway BB et al., 2013
Journal of Neuroscience. 2013;33(48):18792-18805.
DOI: https://doi.org/10.1523/jneurosci.2916-13.2013

[59] **Glutamatergic Periaqueductal Gray Projections to the Locus Coeruleus Orchestrate Adaptive Arousal States in Threatening Contexts**
Wang et al., 2026
Neuroscience Bulletin
DOI: https://doi.org/10.1007/s12264-025-01491-4

[60] **Noradrenergic Activation in the Paraventricular Nucleus During Acute and Repeated Immobilization Stress: An In Vivo Microdialysis Study**
Pacak K et al., 1992
Brain Research. 1992;589(1):91-96.
DOI: https://doi.org/10.1016/0006-8993(92)91165-b

[61] **Relationship of Alpha-1- and Alpha-2-Adrenergic-Binding Sites to Regions of the Paraventricular Nucleus of the Hypothalamus Containing Corticotropin-Releasing Factor and Vasopressin Neurons**
Cummings et al., 2008
Neuroendocrinology
DOI: https://doi.org/10.1159/000124965

[62] **ACTH and cortisol responses to CRH in acute, subacute, and prolonged critical illness: a randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover cohort study**
Peeters et al., 2018
Intensive Care Medicine
DOI: https://doi.org/10.1007/s00134-018-5427-y

[63] **Continuous Administration of Human Corticotropin-Releasing Hormone in the Absence of Glucocorticoid Feedback in Man**
Ur et al., 2008
Neuroendocrinology
DOI: https://doi.org/10.1159/000126840

[64] **The Role of the Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis in Depression Across the Female Reproductive Life Cycle: Current Knowledge and Future Directions**
Hantsoo L et al., 2023
Frontiers in Endocrinology. 2023;14:1295261.
DOI: https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1295261

[65] **Chronic Stress and Autoimmunity: The Role of the Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis and Cortisol Dysregulation**
Núñez SG et al., 2025
International Journal of Molecular Sciences. 2025;26(20):9994.
DOI: https://doi.org/10.3390/ijms26209994

[66] **Defining a serum cortisol cutoff level post-CRH stimulation for diagnosing ACTH deficiency: A retrospective study validated by a nationwide registry**
Izuchi et al., 2026
Frontiers in Endocrinology
DOI: https://doi.org/10.3389/fendo.2026.1741709

[67] **Elevated Gene Expression of Glutamate Receptors in Noradrenergic Neurons of the Locus Coeruleus in Major Depression**
Chandley MJ et al., 2014
International Journal of Neuropsychopharmacology. 2014;17(10):1569-1578.
DOI: https://doi.org/10.1017/s1461145714000662

[68] **Dietary therapy restores glutamatergic input to orexin/hypocretin neurons after traumatic brain injury in mice**
Elliott et al., 2018
Sleep
DOI: https://doi.org/10.1093/sleep/zsx212

[69] **AlgaEcklonia bicyclis,Tribulus terrestris, and Glucosamine Oligosaccharide Improve Erectile Function, Sexual Quality of Life, and Ejaculation Function in Patients with Moderate Mild-Moderate Erectile Dysfunction: A Prospective, Randomized, Placebo-Controlled, Single-Blinded Study**
Sansalone et al., 2014
BioMed Research International
DOI: https://doi.org/10.1155/2014/121396