



Parenterale Ernährung bei Darmerkrankungen

Dr. oec. troph. Sandra Ulrich-Rückert

Der Gastrointestinaltrakt bezeichnet die Gesamtheit der Organe beziehungsweise Organsysteme, die der Aufnahme, der Zerkleinerung, dem Weitertransport und der Resorption der oral aufgenommenen Nahrung dienen und ist damit von entscheidender Bedeutung für die Nährstoff-, Flüssigkeits- und Energieversorgung des Organismus. Er gliedert sich in Speiseröhre, Magen, Dünndarm und Dickdarm, wobei insbesondere den verschiedenen Dünndarmabschnitten die Hauptverdauungsleistung zukommt. Der **Dünndarm** gliedert sich in drei Bereiche:

Das **Duodenum** schließt direkt an den Magen an. In es münden der Gallen- und der Pankreasgang, wodurch die wichtigsten Verdauungsenzyme und die für die Emulgierung der Fette notwendigen Gallensäuren in den Darm eintreten. Sie treffen hier auf den aus dem Magen transportierten sauren Speisebrei und bereiten ihn so für die weitere Verdauung und die anschließende Aufnahme und Verteilung in den Körper vor. Das Duodenum absorbiert den größten Teil des Eisens, Kalziums, Phosphors, Magnesiums, Kupfers, Selens, Thiamins, Riboflavins, Niacins, Biotins, Folsäure und der fettlöslichen Vitamine A, D, E und K [3, 4, 10].

Das **Jejunum** bildet den zweiten Abschnitt des Dünndarms. Die Lymphgefäße des Jejunums helfen bei der Absorption von Lipiden, die in diesem Abschnitt zu Glycerin und freien Fettsäuren aufgespalten werden. Auch Aminosäuren und Kohlenhydrate werden im Jejunum absorbiert und gelangen über die Mesenterialkapillaren in den Blutkreislauf. Andere Nährstoffe, die von den Zellen des Jejunums absorbiert werden, sind Thiamin, Riboflavin, Niacin, Pantothenäure, Biotin, Folat, Pyridoxin, Ascorbinsäure, Kalzium, Phosphor, Magnesium, Eisen, Zink, Chrom, Mangan, Molybdän, Lipide, Monosaccharide, kleine Peptide und die fettlöslichen Vitamine A, D, E und K [3, 4, 9].

Das **Ileum** schließt sich dem Jejunum nach distal an. Es bezeichnet den letzten Dünndarmabschnitt, der an der Ileozökalklappe (Bauhin-Klappe) endet, die diesen vom Zökum und dem nachfolgenden Kolon abtrennt. Das Ileum absorbiert überwiegend Gallensäuren, Ascorbinsäure, Folat, Cobalamin, Vitamin D, Vitamin K und Magnesium [3, 4, 9].

Der **Dickdarm** bezeichnet den letzten Teil des Verdauungstraktes, beginnend ab der Ileozökalklappe. Er besteht aus Zökum, Kolon und Rektum. Unter normalen physiologischen



Bedingungen ist die Hauptaufgabe des Dickdarms die (Rück-) Resorption von Wasser und Elektrolyten sowie die Bildung und Ausscheidung von Stuhl [3, 4, 11].

Darminsuffizienz versus Darmversagen

Eine funktionierende Verdauung und Absorption von Nährstoffen sind für das Überleben des Menschen unabdingbar. Verschiedene Darmerkrankungen können jedoch durch unterschiedliche pathophysiologische Mechanismen dazu führen, dass eine orale bzw. enterale Nährstoff- und/oder Flüssigkeitsaufnahme in ausreichender Form nicht mehr möglich ist [17, 25]. Unterschieden wird dabei zwischen einer **Darminsuffizienz**, die durch gezielte diätetische Maßnahmen kompensiert werden kann, und einem **Darmversagen**, das definiert ist als „die Reduzierung der Darmfunktion unter das für die Absorption von Makronährstoffen und/oder Wasser und Elektrolyten erforderliche Minimum, sodass eine intravenöse Supplementierung notwendig ist, um die Gesundheit und/oder das Wachstum zu erhalten“ [19]. Die supportive Therapie kann dabei je nach Schweregrad der intestinalen Störungen von der Supplementierung einzelner Nährstoffe bis hin zu einer totalen parenteralen Ernährung reichen.

Darmversagen

Das Darmversagen kann abrupt auftreten, oder die langsam fortschreitende Entwicklung einer chronischen Erkrankung sein, und wird wie folgt klassifiziert [23]:

- Typ I: akuter, kurzfristiger und oft selbstlimitierender Zustand
- Typ II: länger anhaltender akuter Zustand, typischerweise bei stoffwechselinstabilen Patienten, der eine komplexe multidisziplinäre Betreuung und intravenöse Ernährung über Wochen oder Monate hinweg erfordert
- Typ III: ein chronischer Zustand bei stoffwechselstabilen Patienten, der über Monate oder Jahre eine intravenöse Supplementierung erfordert. Das Darmversagen kann dabei reversibel oder irreversibel sein.

Das Darmversagen kann zudem in fünf große **pathophysiologische Zustände** eingeteilt werden, die ihren Ursprung in verschiedenen gastrointestinalen oder systemischen Erkrankungen haben (siehe Tabelle 1) [2, 18].

In einer 2018 durchgeführten Erhebung an 3362 erwachsenen Patienten [19], die aufgrund eines chronischen Darmversagens auf eine langfristige parenterale Ernährung angewiesen waren, stellte das **Kurzdarmsyndrom** mit 64,3 Prozent die häufigste

Typ	Primäre Ursache	Zugrunde liegende Erkrankungen
Kurzdarm-Typ	Quantitativer/qualitativer Verlust der resorptiven Oberfläche	<ul style="list-style-type: none"> ■ Postoperativ, bei Patienten mit Morbus Crohn, Mesenterialinfarkt, Strahlenenteritis, familiärer Polyposis, abdominalen Traumata, nekrotisierender Enterokolitis; bariatrische Adipositaschirurgie (z. B. biliopankreatische Diversion mit oder ohne duodenalen Switch), gastroileale Anastomose, umfangreiche Tumoresektion ■ Angeboren, bei Patienten mit Gastroschisis, Darmatresie, Darmfehlbildungen, Omphalozele
Fistel-Typ	Bypass der resorptiven Oberfläche aufgrund einer jejunokolischen Fistel	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chronisch-entzündliche Darmerkrankung (Morbus Crohn, Divertikulitis, Strahlenenteritis) ■ Iatrogen (post-operativ, perkutane Drainage) ■ Traumata, Fremdkörper
Dysmotilitäts-Typ	Eingeschränkte (unzureichende) Nahrungsaufnahme aufgrund ausgeprägter postprandialer Beschwerden, bis hin zum nicht-mechanischen Ileus in schweren Fällen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chronisch-intestinale Pseudoobstruktion: Primär/idiopathisch (neuropathisch/myopathisch) ■ Sekundär (kollagene Gefäßerkrankungen, Ehlers-Danlos-Syndrom, neurologische Erkrankungen wie Morbus Parkinson, intestinale Hypogonadionose, Endokrinopathien) ■ Ogilvie-Syndrom (akute nicht-mechanische Obstruktion des Dickdarms)
Obstruktions-Typ	Reduzierte Nahrungsaufnahme Erhöhte Sekretion von Flüssigkeit und Elektrolyten in obstruktiven Darmabschnitten Verlust von Flüssigkeit und Nährstoffen durch wiederkehrendes Erbrechen und/oder „Überlaufensoren“	<ul style="list-style-type: none"> ■ „Frozen Abdomen“ bei Patienten mit Peritonealkarzinomatose, ausgedehnten Darmadhäsionen, rezidivierender Peritonitis ■ Neoplastische Stenosen und/oder Strikturen ■ Einklemmung/Einschnürung des Darms (Hernie) ■ Volvulus
Mukosa-Typ	Umfangreicher Verlust oder Beschädigung der Schleimhaut führt zu unzureichender Resorption von Nährstoffen und ausgeprägtem enteralem Verlust	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mikrovillöse Einschlusskrankheit ■ Tufting Enteropathie (intestinale epitheliale Dysplasie) ■ Autoimmun-Enteropathie ■ Intestinale Lymphangiektasie ■ Proteinverlust-Enteropathie (Morbus Waldman) ■ Strahlenenteritis ■ Therapie-refraktäre Zöliakie

› *Tabelle 1: Pathophysiologische Klassifikation des Darmversagens (modifiziert nach [19]).*

pathophysiologische Ursache dar. Eine intestinale Dysmotilität lag in 17,5 Prozent der Fälle vor. Die Häufigkeit von Darmfisteln, mechanischen Obstruktionen und ausgedehnten Schleimhauterkrankungen als Ursache des chronischen Darmversagens reichte von 4,4 bis 7 Prozent. Die häufigste Grunderkrankung/zugrunde liegende Erkrankung war der **Morbus Crohn** (22,4 %), gefolgt von mesenterialer Ischämie (17,7 %), chirurgischen Komplikationen (15,8 %), chronischer intestinaler Pseudoobstruktion (CIPO) (9,7 %) und Strahlenenteritis (7,3 %).

Kurzdarmsyndrom

Ein Kurzdarm kann als Folge einer ausgedehnten chirurgischen Resektion oder einer angeborenen Erkrankung des Dünndarms auftreten. Bei enterokutanen Fisteln oder Bypass-Operationen kann auch ohne Resektion aufgrund der Verkürzung der Resorptionsfläche ein sogenanntes funktionelles Kurzdarmsyndrom entstehen. Mit einer Häufigkeit von 34 Fällen pro einer Million Einwohner gilt das Kurzdarmsyndrom als eine seltene Erkrankung [26], allerdings kann von einer Vielzahl nicht erfasseter Fälle ausgegangen werden. Je nach Anatomie des Restdarms werden drei Kategorien unterschieden [15, 16]:

- Endenterostomie ohne durchgehenden Dickdarm (Typ 1)
- jejunokolonische Anastomose ohne Ileozökalklappe und mit einem Teil des durchgehenden Dickdarms (Typ 2)
- jejunioleokolonische Anastomose mit Ileozökalklappe und dem gesamten durchgehenden Dickdarm in Kontinuität (Typ 3)

Nach ausgedehnten Darmresektionen kommt es zu Anpassungsvorgängen, die als sogenannte **intestinale Adaptation** in drei Phasen eingeteilt werden [14]:

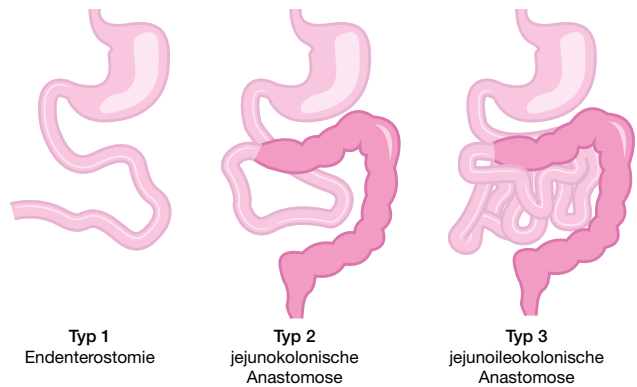


Abbildung 1: Typen des Kurzdarmsyndroms nach Messing [16].

Phase 1: Akute Phase/Hypersekretionsphase (4–6 Wochen)

- Hohe Flüssigkeitsverluste (Diarrhoe, High-output-Stoma)
- Geringe Resorption von Nährstoffen
- Hohes Risiko für Dehydratation und Elektrolytentgleisungen

Phase 2: Adaptation (4 Wochen bis Jahre)

- Funktionsanpassung des Restdarms zur Kompensation rezektierter Darmabschnitte
- Zunahme der Mukosaoberfläche und Kryptentiefe, Hyperplasie der Enterozyten und Mikrovilli, intestinale Dilatation und Verlängerung
- Entscheidend hierfür ist das lumenale Nährstoffangebot.

Phase 3: Stabilisation (lebenslang)

- Maximum der Anpassungsfähigkeit des Restdarms erreicht
- Verlaufskontrollen und Nährstoffsupplementation nach Bedarf
- Orale Autonomie versus Teil-/Vollparenterale Ernährung

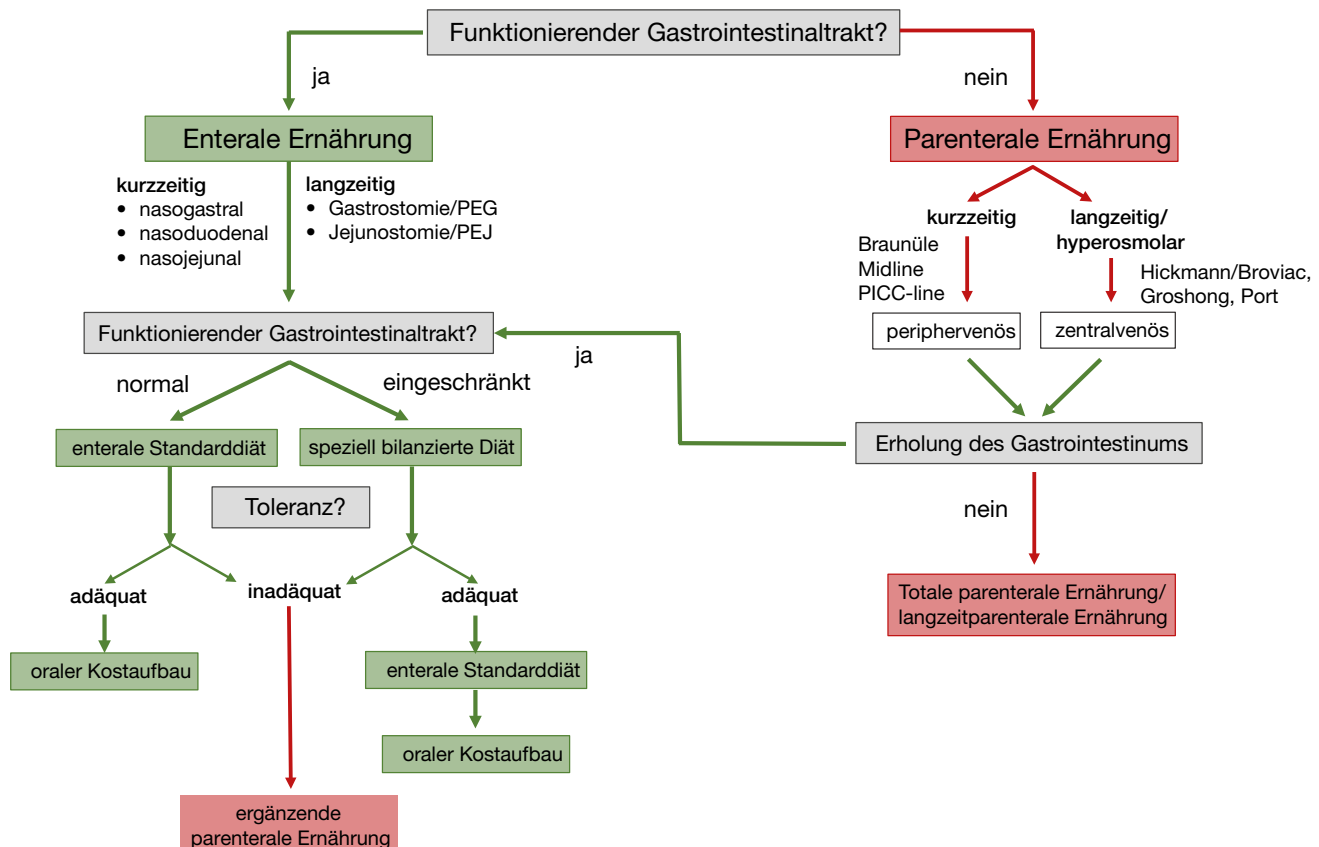


Abbildung 2: Entscheidungshilfen zur Applikation der enteralen bzw. parenteralen Ernährung.



Chronisch-entzündliche Darmerkrankungen

Auch chronisch-entzündliche Darmerkrankungen (CED), insbesondere Morbus Crohn, können eine parenterale Ernährung in Ausnahmefällen erforderlich machen [2, 5]:

- zur Korrektur einer schweren Mangelernährung, insbesondere vor Operationen
- bei besonders starken und/oder blutigen Durchfällen im akuten Schub
- bei schweren, medikamentös nicht behandelbaren Formen von Übelkeit oder Erbrechen
- bei Fisteln in ungünstiger Lage
- bei Stenosen
- beim Kurzdarmsyndrom (KDS) als Folge von Morbus Crohn (MC)
- beim toxischen Megakolon als Folge von Colitis ulcerosa

Parenterale Ernährung bei Kurzdarm und anderen Formen des Darmversagens

Eine parenterale Substitution von Nährstoffen ist indiziert, wenn die enterale Ernährung über den Gastrointestinaltrakt nicht oder nicht ausreichend erfolgen kann beziehungsweise die Funktionen des Magen-Darm-Traktes nicht in genügendem Maße gewährleistet sind und zusätzlich die Indikation für die Durchführung einer künstlichen Ernährung besteht.

Eine Kontraindikation für eine parenterale Ernährung liegt vor, wenn grundsätzlich eine bedarfsdeckende orale oder enterale Ernährung möglich ist, und unter anderem bei schweren Schockzuständen, Hypoxie, schwerer Azidose oder Traumata [27].

Da die Nährstoffresorption nicht in allen Darmabschnitten in gleicher Weise erfolgt, hängt die Notwendigkeit sowie die Planung und Durchführung einer parenteralen Ernährung entscheidend von Länge und Art des (funktionell) fehlenden Darmabschnittes sowie des Vorhandenseins des Kolons in Kontinuität ab. Mit einer langzeitparenteralen Ernährung muss gerechnet werden, wenn weniger als 100 Zentimeter Dünndarm verbleiben. Orale, enterale und parenterale Ernährung schließen einander nicht aus und können zur Deckung des Kalorienbedarfs häufig kombiniert beziehungsweise überlappend angewandt werden [21].

Je nach Krankheitsphase kommen unter Berücksichtigung individueller Gegebenheiten verschiedene Konzepte für eine parenterale Ernährung zum Tragen:

- Flüssigkeitszufuhr mit geringer Kaloriengabe
- Periphervenöse Basisernährung oder halbierte vollständig bilanzierte zentralvenöse Ernährung mit/ohne zusätzlicher Flüssigkeitszufuhr
- Bilanzierte zentralvenöse vollständige parenterale Ernährung mit/ohne zusätzlicher Flüssigkeitszufuhr

Makro- und Mikronährstoffe in der parenteralen Ernährung

Bei der parenteralen Ernährung sind je nach Dauer der Durchführung sowohl Makro- als auch Mikronährstoffe zu berücksichtigen.

Bei den Makronährstoffen kommen Kohlenhydrate (Glukoselösungen), Aminosäurenlösungen und Fettemulsionen zur Anwendung. Bei den Mikronährstoffen werden Elektrolyte, Spurenelemente und Vitamine eingesetzt [7, 21, 23].

Kohlenhydrate

Glukose ist einer der Hauptenergielieferanten und gilt als Standard in der parenteralen Ernährung. Der Brennwert liegt bei ca. vier Kilokalorien pro Gramm. Es wird von allen Organen verstoffwechselt und ist für bestimmte Gewebe (zentrales Nervensystem, Erythrozyten und Nierentubuli) ein obligates Substrat. Untersuchungen zur optimalen Glukoseinfusionsrate ergaben, dass ab 3–4 mg/kg/min nur noch ca. 50 Prozent der zugeführten Glukose oxidiert werden und die Obergrenze der Glukoseoxidation nahezu erreicht war. Höhere Dosierungen führten zu einem überproportionalen Anstieg des respiratorischen Quotienten über 1 (bei steigender CO₂-Produktion), erhöhter Synthese von Triglyzeriden und zur Fettinfiltration der Leber. Die Zufuhr sollte daher 3–4 Gramm pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag bzw. 4–5 mg/kg/min (ca. 0,25 g/kg/h) nicht überschreiten. Bei steigenden Blutzuckerspiegeln (> 10 mmol/l bzw. > 180 ml/dl) beim nicht-diabetischen Patienten sollte als erste Maßnahme die Zufuhr von Glukose reduziert werden [7, 13, 14, 21, 27].

Eiweiße

Das funktionelle Eiweißminimum von 0,8–1 Gramm Protein pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag dient der Aufrechterhaltung der normalen Syntheseleistung des Organismus und sollte nicht unterschritten werden. Dabei ist auf ein ausgeglichenes Verhältnis der nicht-essenziellen, semi-essenziellen und essenziellen Aminosäuren zu achten. Je nach metabolischen Erfordernissen kann der Aminosäurenbedarf auf 1,4 (–2) Gramm pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag steigen. Dadurch wird eine positive Stickstoffbilanz erreicht und der Verlust an fettfreier Körperzellmasse minimiert. Da die Eiweißsynthese im Organismus ein energieverbrauchender Prozess ist, wird die optimale Verwertung der zugeführten Aminosäuren nur bei gleichzeitiger Gabe von anderen Energieträgern gewährleistet. Das angestrebte Stickstoff-Kalorien-Verhältnis sollte unter Normalbedingungen 1:100 bis 1:130 (g N/kcal) betragen. Eine weitere Erhöhung bietet keine metabolischen Vorteile [24]. Für die Praxis einer parenteralen Ernährung bedeutet das, dass pro Gramm Aminosäuren mindestens 16 Kilokalorien aus Nicht-Stickstoff/Eiweiß-Energieträgern (d. h. Kohlenhydraten und Fette) zur Verfügung stehen müssen, um eine angemessene Utilisation von Aminosäuren zu gewährleisten. Der Brennwert liegt bei vier Kilokalorien pro Gramm. Die maximale Laufgeschwindigkeit für Aminosäuren-Lösungen liegt bei 0,1 Gramm Aminosäuren pro Kilogramm Körpergewicht pro Stunde (0,1 g AS/kg KG/h). Bei einem Anstieg der Serumharnstoffkonzentration um 30 mg/dl sollte die Aminosäurezufuhr reduziert werden (**CAVE:** Bei Niereninsuffizienz kann dieses Kriterium nicht verwertet werden) [7, 13, 14, 21, 27].

Lipide

Aufgrund der hohen Energiedichte (ca. 10 kcal/g) dienen Lipidemulsionen bei geringem Volumen als wichtige Energielieferanten. Daneben spielen inzwischen auch die nicht-energetischen Wirkungen der Lipide eine entscheidende Rolle bei der Auswahl geeigneter Lipidemulsionen. Fettemulsionen der ersten Generation, die im Wesentlichen auf Sojabohnen-Öl ba-

sierten, sollten aufgrund eines ungünstigen Wirkprofils nicht mehr zum Einsatz kommen. Empfohlen werden heute Emulsionen der zweiten/dritten Generation (MCT/LCT-Mischemulsionen, sowie Emulsionen, die vornehmlich Olivenöl enthalten) und vierten Generation (MCT/LCT-Fette und Fischöle und/oder Olivenöl). Die Empfehlungen für die Dosierung von Fettemulsionen im Rahmen einer parenteralen Ernährung liegen bei 0,8–1,4 Gramm pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag. Die maximale Infusionsgeschwindigkeit liegt bei maximal 0,125 Gramm Fett pro Kilogramm Körpergewicht pro Stunde (0,125 g/kg KG/h). Beim Anstieg der Serum-Triglyzeride auf > 400 mg/dl sollte die Fettzufuhr reduziert werden [1, 7, 13, 14, 21, 27].

Flüssigkeit und Elektrolyte

Der Flüssigkeitsbedarf wird üblicherweise mit 25–35 Milliliter pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag angegeben. Eine weitere Berechnungsgrundlage bietet folgende Formel: **1500 ml für die ersten 20 Kilogramm Körpergewicht plus 20 Milliliter für jedes weitere Kilogramm Körpergewicht.**

Bei Verlusten über Diarrhoe, Stoma-Output oder Erbrechen muss entsprechend mehr Flüssigkeit kalkuliert werden. Hier empfiehlt sich eine regelmäßige Flüssigkeitsbilanzierung (Input-Output), üblicherweise über einen 24-Stunden-Sammelurin mit Ermittlung der Urin-Elektrolyte zur Erfassung des Hydratationszustandes.



Elektrolyte (Natrium, Kalium, Magnesium, Kalzium, Phosphat und Chlorid) sind in den parenteralen Komplettlösungen bereits enthalten. Ein individueller zusätzlicher Bedarf kann mittels Elektrolytlösungen oder in Form eines individuellen Compounding substituiert werden [7, 13, 14, 21, 27].

Vitamine und Spurenelemente

In der parenteralen Ernährung sollten, soweit parenteral verfügbar, möglichst alle Vitamine (fett- und wasserlöslich) und Spurenelemente (Zink, Eisen, Kupfer, Selen, Mangan, Chrom, Molybdän, Jod, Fluor) zugeführt werden, die auch in einer normalen Ernährung enthalten sind. Diese sind als Fertiglösungen erhältlich. Die tägliche Substitution erfolgt in der Praxis üblicherweise mit je einer Ampulle wasserlöslicher und fettlöslicher Vitamine (alternativ stehen für die Vitamine inzwischen auch Kombipräparate mit und ohne Vitamin K zur Verfügung) sowie einer Ampulle Spurenelemente, die aus Stabilitätsgründen erst kurz vor der Infusion der parenteralen Ernährung zugesetzt werden. Insbesondere beim chronischen Darmversagen sind die Standarddosierungen für einzelne Mikronährstoffe



aber oft nicht ausreichend, sodass häufig eine ergänzende Zufuhr, zum Beispiel an fettlöslichen Vitaminen (A, D, E, K, i.m. oder sublingual), Eisen (i.v.) oder Vitamin B₁₂ (i.m., s.c.) erfolgen muss [7, 13, 14, 21, 27].

Auswahl der Infusionsbeutel

Eine parenterale Ernährung kann entweder als Single-Bottle-System, bei dem die Makronährstoffe getrennt voneinander zugeführt werden, oder aber als All-in-one (AIO)-Mischlösung verabreicht werden. Im Gegensatz zum Einzelkomponentensystem handelt es sich bei den Mischbeuteln um ein geschlossenes System, wodurch das Risiko für manipulationsbedingte Infektionen und metabolische Entgleisungen deutlich reduziert ist. Für die praktische Anwendung von Mischbeuteln stehen zwei unterschiedliche Konzepte zur Verfügung. Zum einen industriell gefertigte Zwei- oder Drei-Kammer-Beutel (sogenannte Convenience-Systeme), zum anderen von spezialisierten Apotheken hergestellte individuell zusammengesetzte Nährstofflösungen (Compounding).

Dreikammerbeutel gibt es in unterschiedlichen Volumina und Zusammensetzungen, sowohl für die periphere als auch die zentralvenöse Applikation, worüber eine Vielzahl von Patienten adäquat und bedarfsdeckend versorgt werden können.

Besonderheiten beim Kurzdarmsyndrom

Bei Patienten mit einem Kurzdarmsyndrom sind die gängigen Standardbeutel aber häufig nicht ausreichend. Folgende Besonderheiten ergeben sich bei Patienten mit Kurzdarm/chronischem Darmversagen [13, 14]:

- Meist deutlich erhöhte Flüssigkeits- und Elektrolytverluste über Diarrhoen, hohe Stoma-Verluste und/oder Erbrechen (insbesondere in der Hypersekretionsphase).
- Demgegenüber sind die Standardvorgaben für die Makronährstoffzufuhr häufig zu hoch, da Patienten mit Kurzdarm einen geringeren Energiebedarf aufweisen und sich zumindest partiell oral mit Makronährstoffen versorgen können.

Daher benötigt ein Teil der Kurzdarmpatienten eine individuelle Zusammenstellung der parenteralen Infusionslösungen (Compounding) entsprechend der Empfehlungen der nationalen und internationalen Leitlinien im Rahmen der langfristigen heimparenteralen Versorgung (siehe Tabelle 2) [7, 13, 14, 21].



Bestandteil	Bedarf	Anmerkungen/Besonderheiten
Energiebedarf	20–35 kcal/kg KG	Die benötigte Energiezufuhr über die parenterale Ernährung hängt maßgeblich von Art und Ausmaß der verbliebenen Darmabschnitte ab. Insbesondere das Vorhandensein des Kolons, das in der Kurzdarmsituation einen wesentlichen Beitrag zur Energierückgewinnung leisten kann, kann den i.v.-Bedarf wesentlich senken (bis zu 1200 kcal).
Aminosäuren (AS)	0,8–1,4 g/kg KG	Max. Infusionsgeschwindigkeit: 0,1 g AS/kg KG/h. Bei Nieren- und Lebererkrankungen können u. U. spezielle Aminosäuremischungen zur Anwendung kommen [6, 8]. Pro Gramm AS müssen mindestens 16 kcal an Nicht-Eiweiß-Kalorien geplant werden [24].
Glukose	3–4 g/kg KG/Tag	Maximale Infusionsgeschwindigkeit: 0,25 g/kg KG/h bzw. 4–5 mg/kg KG/min. Die Verteilung der Nicht-Eiweiß-Kalorien, d.h. Glukose und Fett, sollte zwischen 60 %–40 % und 50 %–50 % liegen.
Lipide	0,8–1,4 g/kg KG/Tag	Max. Infusionsgeschwindigkeit: 0,125 g/kg KG/h. Bei einer Zufuhr von mehr als 1 g/kg KG/Tag sollten Fettemulsionen der dritten/vierten Generation (mit Olivenöl, MCT und Fischöl) verwendet werden, um die Aufnahme an Sojaöl zu reduzieren.
Natrium	1–1,5 mmol/kg KG/Tag Bei Dünndarmstoma: plus 100 mmol/l Stoma-Output. Bei Kolon in Kontinuität: plus 30–60 mmol/l pro l Durchfallvolumen	Bei einer ausreichenden Zufuhr sollte das Urinvolumen > 15 ml/kg KG/Tag oder > 800–900 ml/Tag und das Urin-Natrium im 24 h-Sammelurin > 20–35 mmol/l betragen. Das Verhältnis von Urin-Natrium zu Urin-Kalium sollte > 1 liegen, um einen sekundären Hyperaldosteronismus (entsprechend ausgeglichener Hydratationsstatus) auszuschließen.
Kalium	1–1,5 mmol/kg KG/Tag. Bei Dünndarmstoma: plus 10–30 mmol/l. Bei Kolon in Kontinuität: plus 30–60 mmol/l pro l Durchfallvolumen	Als Kontrolle einer ausreichenden Zufuhr dient das Serum-Kalium.
Chlorid	1–1,5 mmol/kg KG/Tag	Für ein ausgeglichenes Säure-Basen-Verhältnis sollte das Verhältnis von Chlorid zu Acetat in der parenteralen Ernährung optimalerweise 1:1–1:3 betragen.
Phosphat	0,3–0,5 mmol/kg KG/Tag	Im katabolen Zustand kommt es zur Freisetzung von Phosphat, im anabolen Zustand steigt der Phosphatbedarf.
Kalzium	0,1–0,15 mmol/kg KG/Tag	Als Kontrolle einer ausreichenden Kalziumzufuhr dient Parathormon im Serum. Initiales Verhältnis Kalzium zu Phosphat optimalerweise 1:2, bei Bedarf weitere Anpassung.
Magnesium	0,1–0,15 mmol/kg KG/Tag	Bei einer ausreichenden Zufuhr sollten sowohl das Serum-Magnesium als auch die Magnesiumausscheidung im 24-Stunden-Sammelurin normwertig sein.
Zink	0,045 mmol/Tag bzw. 3–5 mg/Tag	Als Kontrolle dient ein normwertiges Serum-Zink bei normwertigem CRP.
Vitamine (wasserlöslich/fettlöslich)	Kombinationspräparate	Die kommerziell erhältlichen Kombinationspräparate für wasserlösliche und fettlösliche Vitamine sowie die Kombinationspräparate, die gleichzeitig wasserlösliche und fettlösliche Vitamine enthalten (CAVE: hier sind Kombinationspräparate mit und ohne Vitamin K erhältlich), decken in den angegebenen Dosierungen den physiologischen Bedarf der jeweiligen Vitamine. Darüber hinaus bestehende Vitaminmangelzustände sind isoliert auszugleichen.
Spurenelemente	Kombinationspräparat	Die kommerziell erhältlichen Kombinationspräparate für Spurenelemente decken in den angegebenen Dosierungen den physiologischen Bedarf der jeweiligen Spurenelemente. Darüber hinaus bestehende Mangelzustände sind isoliert auszugleichen.
Flüssigkeit	25–35 ml/kg KG/Tag plus Verluste durch Stoma-Output, Diarrhoe, Erbrechen	
Infusionsgeschwindigkeit	Individuell meist zwischen 8 und 20 Stunden	Nach Verträglichkeit der Volumenbelastung und Intensität der Zufuhr von Makronährstoffen. Maximal zulässige Laufgeschwindigkeit orientiert sich i. d. R. an der maximalen Infusionsgeschwindigkeit der Glukose (s. o.). Um eine kontrollierte und gleichmäßige Zufuhr aller Nährstoffe zu gewährleisten, ist der Einsatz von Infusionspumpen sinnvoll.

› Tabelle 2: Empfehlung für die Nährstoffversorgung im Rahmen einer parenteralen Ernährung zur Berechnung eines individuellen Compoundings [7, 13, 14, 21].

Beispielrechnung für ein individuelles Compounding

Patientin: 55 Kilogramm Körpergewicht

Zu berücksichtigende Nährstoffe/ Faktoren	Berechnung	Berechnete erforderliche Zufuhr
Gesamtenergie	55 kg x 25 kcal = 1375 kcal	1375 kcal
Eiweißbedarf	55 kg x 1,2 g EW = 66 g = 264 kcal	Eiweiß: 66 g
Verteilung Glukose/Fett (z. B. 55%/45%)	611 kcal/500 kcal bzw. 153 g/50 g	Pro Gramm Aminosäuren müssen mindestens 16 kcal Kohlenhydrate und Fett zur Verfügung stehen.
Kontrollrechnung Glukose-Faktoren	Glukose: 153 g/55 kg = 2,8 g/kg KG	Glukose: 153 g
Kontrollrechnung Fett-Faktoren	Fett: 50 g/55 kg = 0,9 g/kg KG	Fett: 50 g
Natrium	55 kg x 1 mmol = 55 mmol	Natrium: 55 mmol
Kalium	55 kg x 1 mmol = 55 mmol	Kalium: 55 mmol
Kalzium	55 kg x 0,15 mmol = 8,3 mmol	Kalzium: 8,3 mmol
Magnesium	55 kg x 0,1 mmol = 5,5 mmol	Magnesium: 5,5 mmol
Phosphat	55 kg x 0,3 mmol = 16,5 mmol	Phosphat: 16,5 mmol
Flüssigkeit	55 kg x 30 ml = 1650 ml	1650 ml
Laufgeschwindigkeit (0,25 g Glc/kg KG/h)	55 kg/4 = 13,75 g Glc/h = ca. 12 h = ca. 138 ml/h	

Plus Zusatz fett- und wasserlöslicher Vitamine und Spurenelemente.

Weitere Anpassungen des Infusionsregimes entsprechend der klinischen Situation sowie der Laborverlaufskontrollen.

Natrium: 277 mmol → 4,4 mmol/kg KG → infolge des High-output-Stomas
 Kalium: 93 mmol → 1,47 mmol/kg KG
 Kalzium: 6,8 mmol → 0,11 mmol/kg KG
 Magnesium: 11 mmol → 0,17 mmol/kg KG
 Phosphat: 19 mmol → 0,3 mmol/kg KG
 Flüssigkeit: 3000 ml → 47,62 ml/kg KG → infolge des High-output-Stomas

Laufgeschwindigkeit: 200 ml/h über 15 h

Plus Zusatz von fett- und wasserlöslichen Vitaminen und Spurenelementen.

Plus zusätzliche i.v.-Elektrolytlösungen nach Bedarf. Tägliche Elektrolytkontrollen im Rahmen des stationären Aufenthaltes sowie engmaschige Anpassungen des Infusionsregimes.

Fall 2

Patientin, 40 Jahre, 45 Kilogramm, chronisches Darmversagen auf dem Boden eines Kurzdarmsyndroms infolge multipler Darmresektion im Rahmen eines Morbus Crohn, Ileostoma, Heimparenterale Ernährung.

Gesamtenergie: 1312 kcal → 29 kcal/kg KG
 Glukose: 135 g → 3 g/kg KG
 Aminosäuren: 68 g → 1,5 g/kg KG
 Lipide: 50 g → 1,1 g/kg KG
 Natrium: 90 mmol → 2 mmol/kg KG
 Kalium: 90 mmol → 2 mmol/kg KG
 Kalzium: 6 mmol → 0,13 mmol/kg KG
 Magnesium: 10 mmol → 0,22 mmol/kg KG
 Phosphat: 12 mmol → 0,26 mmol/kg KG
 Flüssigkeit: 1200 ml → 26,6 ml/kg KG
 Laufgeschwindigkeit: 100 ml/h über 12 h

Plus Zusatz von fett- und wasserlöslichen Vitaminen und Spurenelementen. Laborkontrollen alle drei Monate, Anpassung des Infusionsregimes nach Bedarf.

Auswahl der Applikationstechniken

Die voraussichtliche Dauer der parenteralen Ernährung nimmt einen wesentlichen Einfluss auf die Wahl des Kathetertyps, die Zugangstechnik und die Katheterposition.

Ist eine parenterale Ernährung für maximal sieben bis zehn Tage geplant, empfiehlt sich in der Regel ein periphervenöser Katheter (kurze periphere Kanüle) oder für bis zu sechs Wochen ein Midline-Katheter. Zu beachten ist hier, dass die über periphervenöse Katheter applizierte parenterale Ernährung aufgrund der Osmolaritätsgrenze (von ca. 800 mmol/l) nur als supplementierende Ernährung oder zur temporären Überbrückung eingesetzt werden kann. Bei länger andauernder periphervenöser Ernährung ist mit einer Zunahme an Komplikationen (u. a. Thrombophlebitis) zu rechnen. Für die kurzfristige Applikation zentralvenöser Infusionslösungen im stationären Setting kann die Anlage eines zentralen Venenkatheters erfolgen (ZVK).

Fallbeispiele aus der Klinik

Fall 1

Patient, 62 Jahre, 63 Kilogramm, chronisches Darmversagen auf dem Boden eines Kurzdarmsyndroms nach Mesenterialinfarkt, High-output-Ileostoma in der Hypersekretionsphase, stationär.

Gesamtenergie: 2125 kcal → 33 kcal/kg KG
 Glukose: 232 g → 3,7 g/kg KG
 Aminosäuren: 95 g → 1,5 g/kg KG
 Lipide: 82 g → 1,3 g/kg KG



Für mittelfristige intravenöse Therapien (1–3 bis max. 6 Monate) empfiehlt sich die Anlage eines peripher eingeführten zentralvenösen Katheters (PICC-line-Katheter), über den auch hyperosmolare Lösungen (> 800 mmol/l), das heißt Infusionsbeutel für die zentralvenöse Applikation, verabreicht werden können. Für eine langfristige parenterale Ernährungstherapie sind sowohl subkutan tunnelierte Katheter (Hickman-/Broviac-Katheter, Groshong-Katheter) als auch implantierte Dauerkatheter (Portsysteme) geeignet. Für eine alleinige parenterale Ernährung (ohne begleitende Chemotherapie) sind die subkutan tunnelierten Katheter aufgrund eines geringeren Infektionsrisikos (wenn möglich) einem Portsystem vorzuziehen [7, 13, 14, 21].

Zum Thema Komplikationen einer parenteralen Ernährung siehe Beiträge „Parenterale Ernährungstherapie in der Onkologie“, Seite 19 und „Einsatz, Berechnung und praktische Aspekte zur parenteralen Ernährung – auch bei Kindern“, Seite 11.

Monitoring einer parenteralen Ernährung

Die (langzeit-)parenterale Ernährung bedarf einer regelmäßigen klinischen Überwachung und Kontrolle, die zu Beginn sehr engmaschig erfolgen sollte. Bei unkompliziertem und stoffwechselstabilem Verlauf können die Kontrollintervalle auf maximal drei (bis sechs) Monate verlängert werden. Insbesondere im Verlauf eines Kurzdarmsyndroms kommt es häufig zu einer Adaptation des Restdünndarms mit damit einhergehender verbesserter Resorptionskapazität. Daher muss die parenterale Ernährungs- und Volumentherapie engmaschig überwacht und regelmäßig angepasst werden. Dies sollte optimalerweise an spezialisierten Zentren mit interdisziplinär besetzten Ernährungsteams (Ernährungsmediziner, Ernährungsfachkräfte, Pflegekräfte, Pharmazeuten) erfolgen [7, 13, 14, 21]. Siehe hierzu auch den Beitrag „Parenterale Ernährungstherapie in der Onkologie“, Seite 19 bzw. den Beitrag „Einsatz, Berechnung und praktische Aspekte zur parenteralen Ernährung – auch bei Kindern“, Seite 11.

Literatur

- Adolph M, Heller AR, Koch T et al. Lipidemulsionen – Leitlinie parenterale Ernährung, Kapitel 6. German medical science 2009; 7: 1–13
- Aksan A, Farrag K, Blumenstein I, Schröder O et al. Chronic intestinal failure and short bowel syndrome in Crohn's disease. *World J Gastroenterol* 2021; 27(24): 3440–3465
- Basile EJ, Launico MV, Sheer AJ. Physiology, Nutrient Absorption. StatPearls Publishing October 2023 Physiology, Nutrient Absorption. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK597379/>
- Ber Y, Garcia-Lopez S, Gargallo-Puyuelo CJ et al. Small and large intestine (II): Inflammatory Bowel Disease, short bowel syndrome, and malignant tumors of the digestive tract. *Nutrients* 2021; 13(7): 2325
- Bischoff SC, Koletzko B et al. Klinische Ernährung in der Gastroenterologie (Teil 4): Chronisch-entzündliche Darmerkrankungen. *Aktuelle Ernährungsmedizin* 2014; 39: e72–e98
- Bischoff SC, Bernal W, Dasarthy S et al. ESPEN practical guideline: Clinical Nutrition in liver disease. *Clinical Nutr* 2020; 39: 3533–3562
- Bischoff SC, Bager P, Escher J et al. ESPEN guideline on Clinical Nutrition in inflammatory bowel disease. *Clin Nutr* 2023 Mar; 42(3): 352–379
- Druml W, Contzen B, Joannidis M et al. S1-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsmedizin (DGEM) in Zusammenarbeit mit der AKE, der GESKES und der DGI. Enterale und parenterale Ernährung von Patienten mit Niereninsuffizienz. *Aktuelle Ernährungsmedizin* 2015; 40: 21–37
- Hahn S, Ferschke M. Dünndarm – Jejunum und Ileum. *Ernährungsumschau* 2018; 7: M386–M395

Empfehlungen für die Kontrolle der Laborparameter [13, 14, 21]

Zu Beginn täglich

- Glukose (mehrfach), Kalium, Phosphat, Natrium, Magnesium, Kalzium, Triglyzeride, Säure-Basen-Haushalt, Kreatinin und Harnstoff.

Im Verlauf wöchentlich

- Blutbild, Glukose, Kalium, Phosphat, Natrium, Kalzium, Magnesium, Säure-Basen-Haushalt, Triglyzeride, Kreatinin, Harnstoff, Blutbild, ALAT, ASAT, Bilirubin, CHE, Lipase, Amylase, Albumin, Gesamteiweiß.

Bei Langzeiternährung

- Monatlich bis drei bis sechs Monate: unter anderem CRP, Blutbild, Glukose, Kalium, Phosphat, Natrium, Kalzium, Magnesium, Säure-Basen-Haushalt, Triglyzeride, Kreatinin, Harnstoff, Blutbild, ALAT, ASAT, Bilirubin, HbA1c, TSH, CHE, Lipase, Amylase, Albumin, Gesamteiweiß, Vitamine, Spurenelemente.

- Hahn S, Ferschke M. Dünndarm – Duodenum. *Ernährungsumschau* 2017; 11: M644–M651
- Hahn S, Ferschke M, Groeneveld M. Dickdarm – Anatomie, Physiologie und Mikrobiota. *Ernährungsumschau* 2019; 7: M425–M431
- Jeejeebhoy KN. Short bowel syndrome: a nutritional and medical approach. *Canadian medical association journal* 2002; 166(10): 1297–1302
- Lamprecht G, Pape UF, Witte M et al. S3-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsmedizin (DGEM) in Zusammenarbeit mit der AKE, der GESKES und der DGV. *Klinische Ernährung in der Gastroenterologie (Teil 3) – Chronisches Darmversagen. Aktuelle Ernährungsmedizin* 2014; 39(02): e57–e71
- Lamprecht G, Blumenstein I, Gerlach U et al. Kurzdarmsyndrom und Darmversagen. 1. Auflage. Bremen: Uni-Med Verlag AG; 2016
- Massironi S, Cavalloli F, Rausa E et al. Understanding short bowel syndrome: Current status and future perspectives. *Dig Liver Dis* 2020; 52: 253–261
- Messing B, Crenn P, Beau P et al. Long-Term survival and parenteral nutrition dependence in adult patients with short bowel syndrome. *Gastroenterology* 1999; 117: 1043–1050
- Montoro-Huguet MA, Belloc B, Dominguez-Cajal M. Small and large intestine (I): Malabsorption of nutrients. *Nutrients* 2021; 13(4): 1254
- Pironi L, Arends J, Baxter J et al. Home Artificial Nutrition & Chronic Intestinal Failure Acute Intestinal Failure Special Interest Groups of ESPEN. ESPEN endorsed recommendations. Definition and classification of intestinal failure in adults. *Clin Nutr* 2015; 34: 171–180
- Pironi L, Arends J, Bozzetti F et al. Home Artificial Nutrition and Chronic Intestinal Failure Special Interest Group of ESPEN. ESPEN guidelines on chronic intestinal failure in adults. *Clin Nutr* 2016; 35: 247–307
- Pironi L, Konrad D, Brandt C et al. Clinical classification of adult patients with chronic intestinal failure due to benign disease: An international multi-center cross-sectional survey. *Clin Nutr* 2018; 37: 728–738
- Pironi L, Boeykens K, Bozzetti F et al. ESPEN practical guideline: Home parenteral nutrition. *Clin Nutr* 2023 Mar; 42(3): 411–430
- Sarna SK, Otterson MF. Small intestinal physiology and pathophysiology. *Gastroenterol Clin North Am* 1989; 18(2): 375–404
- Shaffer J. Intestinal failure: definition and service development. *Clin Nutr* 2002; 21: 144e145
- Stein J, Boehles HJ, Blumenstein I et al. Aminosäuren – Leitlinie parenterale Ernährung. *German Medical Science* 2009; 7: 1–8
- Van Gossum A, Cabre E, Hébuterne X et al. ESPEN Guideline on parenteral nutrition: Gastroenterology. *Clinical Nutr* 2009; 28: 415–427
- Von Websky MM, Liermann U, Buchholz BM et al. Das Kurzdarmsyndrom in Deutschland. *Chirurg* 2014; 85: 433–439
- Zech U. Parenterale Ernährung. Therapie aktuell – Arzneiverordnung in der Praxis 2019; 1–7. https://www.akdae.de/fileadmin/user_upload/akdae/Arzneimitteltherapie/AVP/vorab/Parentale-Ernaehrung.pdf (abgerufen Dezember 2023)

Dr. oec. troph. Sandra Ulrich-Rückert

Universitätsklinikum Frankfurt am Main, Medizinische Klinik 1
E-Mail: s.ulrichrueckert@gmail.com