

# IX. ENDOKRINOLOGIE

## DIABETES MELLITUS (DM) ("Honigsüßer Durchfluss") [E14.90; Typ 1: E10.90; Typ 2: E11.90]

**Internet-Infos:** [www.diabetes-deutschland.de](http://www.diabetes-deutschland.de); [www.diabetede.org](http://www.diabetede.org); [www.diabetes-symposium.de](http://www.diabetes-symposium.de); [www.deutsche-diabetes-gesellschaft.de](http://www.deutsche-diabetes-gesellschaft.de); [www.easd.org](http://www.easd.org); [www.diabetes.org](http://www.diabetes.org)

**Def:** Gruppe heterogener Erkrankungen mit dem gemeinsamen Merkmal der chronisch-progredienten Hyperglykämie. Ursächlich ist entweder eine Störung der Insulinsekretion, der Insulinwirkung oder eine Kombination dieser beiden. Erbliche Komponenten sind beteiligt.

**Ep.:** Weltweite Pandemie, Prävalenz stetig zunehmend (Deutschland ca. 11 - 12 %). Die Lebenszeitprävalenz manifesten Diabetiker ist altersabhängig: In Deutschland im Alter < 50 J. 2 - 3 %, im Alter > 60 J. ca. 15 %, im Alter > 70 J. bis 22 %. Davon sind > 90 % Typ 2-Diabetiker und ca. 5 % Typ 1-Diabetiker. Dabei zeigt sich bis ins hohe Alter eine männliche Dominanz. Die Mortalitätszunahme von Menschen mit (bekanntem) Diabetes gegenüber Menschen ohne Diabetes liegt bei ca. 1,6-fach. Die Zahl der Typ 2-Diabetiker in einer Population steigt mit dem Ausmaß der Adipositas = sog. Zwillingepandemie. Der sozio-ökonomische Status scheint ebenfalls eine Rolle zu spielen. Die Dunkelziffer des Typ 2-Diabetes liegt (weltweit) bei ca. 35 - 40 % und ist in den Industriestaaten deutlich niedriger.

Die Prävalenz des Typ 1 Diabetes beträgt in Mitteleuropa etwa 0,3%. Die Inzidenz liegt in Deutschland bei etwa 15 Fällen pro 100.000 Einwohner/Jahr (stetig steigend).

**Klassifikation nach der Ätiologie:** (WHO und ADA = American Diabetes Association, 1997)

- I. Typ 1-DM:  $\beta$ -Zelldestruktion, die zum absoluten Insulinmangel führt.
  - A) Immunologisch bedingt  
Sonderform: LADA (latent autoimmune diabetes (with onset) in adults): Typ 1-DM mit Manifestation im Erwachsenenalter (> 25. Lj.), bei dem sich der Insulinmangel rel. langsam ausbildet. In den ersten 6 Monaten oft keine Insulinpflichtigkeit, Nachweis von GAD-Ak.
  - B) Idiopathisch (in Europa selten)
- II. Typ 2-DM: Zugrunde liegen diesem vier Faktoren, in unterschiedlichen Ausprägungsgraden: Eine Insulinresistenz, ein sekretorischer Defekt sowohl der  $\beta$ -Zellen als auch der  $\alpha$ -Zellen (Hyperglukagonismus), eine fortschreitende Apoptose der  $\beta$ -Zellen und eine verminderte Inkretinsekretion und -wirkung. Es werden neue Subgruppen/Cluster diskutiert.
- III. Andere Diabetesformen = Typ 3-DM:
  - A) Genetische Defekte in der  $\beta$ -Zellfunktion (autosomal-dominanter Erbgang):  
 „Maturity-onset Diabetes of the Young (MODY) ohne Auto-Ak-Nachweis und ohne Adipositas: Manifestation vor dem 25. Lj.; ca. 1 % aller Diabetiker. Demaskierung in ca. 2 % aller Gestations-Diabetes mellitus. Derzeit sind 14 Formen bekannt. Die nachfolgenden 4 Formen sind für ca. 90 aller MODY-Fälle verantwortlich:

MODY-Form	Gen	Abkürzung	Chromosom	PPh	Anmerkungen
MODY 1 (~ 3%)	Hepatocyte nuclear factor 4 alpha	HNF-4alpha	20q	Reduzierte Insulinsekretion, verminderte Glykogensynthese	Niedrige Triglyzeride
MODY 2 (~ 15%)	Glukokinase	GK	7p	Reduzierte Insulinsekretion	Milder Verlauf, meist ohne Spät-komplikationen
MODY 3 (~ 70%)	Hepatocyte nuclear factor 1 alpha	HNF-1-alpha	12q	Reduzierte Insulinsekretion	Renale Glukosurie, erhöhte Sulfonylharnstoffsensibilität
MODY 5 (~ 3%)	Hepatocyte nuclear factor 1 beta	HNF-1beta	17q	Reduzierte Insulinsekretion	Nierenzysten, Malformationen der Genitale

Alle anderen Formen des MODY-DM kommen  $\leq 1\%$  vor und werden deshalb hier nicht aufgeführt.

- B) Genetische Defekte der Insulinwirkung
- C) Pankreaserkrankungen (z.B. chronische Pankreatitis)
- D) Endokrinopathien: Akromegalie, Cushing-Syndrom, Phäochromozytom, Hyperthyreose, Somatostatinom, Glukagonom, Aldosteronom
- E) Medikamentös induziert, z.B. Glukokortikoide, Schilddrüsenhormone, Betaadrenergika, Thiazide, hormonelle Kontrazeptiva
- F) Infektionen, z.B. Kongenitale Rötelninfektion, CMV-Infektion

G) Seltene immunologisch bedingte Formen, z.B. Anti-Insulin-Rezeptor-Antikörper

H) Genetische Syndrome, die gelegentlich mit DM vergesellschaftet sind, z.B. Down-, Klinefelter-, Turner-Syndrom

#### IV. Gestationsdiabetes (GDM) = Typ 4-DM

Neuer Klassifikationsvorschlag für LADA Typ 1- und Typ 2-DM mit 5 Subgruppen (Clustern), basierend auf der Analyse von GAD-AK, Alter, BMI, HbA<sub>1c</sub>, HOMA-IR und HOMA-B (Homeostatic model assessment: IR for insulin resistance; B for B-cell function/ratio)

- Cluster 1: SAID (severe autoimmune diabetes) bei ca. 7 %
- Cluster 2: SIDD (severe insulin-deficient diabetes) bei ca. 18 %
- Cluster 3: SIRD (severe insulin-resistant diabetes) bei ca. 15 %
- Cluster 4: MOD (mild obesity-related diabetes) bei ca. 22 %
- Cluster 5: MARD (mild age-related diabetes) bei ca. 39 %

Diese Klassifikation verfolgt den Ansatz, durch eine verbesserte Differenzierung eine gleichzeitig differenziertere Risikoabschätzung und eine individualisierte prognosebasierte Therapie zu ermöglichen. (Noch nicht in die Leitlinien aufgenommen)

#### **Pg.:** ▶ Typ 1-DM (< 10 %):

Immunvermittelte Zerstörung der Beta-Zellen der Langerhansschen Inseln → Autoimmuninsulinitis mit absolutem Insulinmangel. Wenn ca. 80 % aller Beta-Zellen zerstört sind, steigt der Blutzucker an. Genetische Faktoren spielen eine prädisponierende Rolle: 20 % der Typ 1-Diabetiker haben eine positive Familienanamnese (mit Typ 1-DM) und > 90 % der Patienten haben die HLA-Merkmale DR 3 und/oder DR 4. Für eine Autoimmuninsulinitis sprechen folgende Befunde beim frisch manifestierten Typ 1-DM:

##### • Nachweis von Autoantikörpern:

- Zytoplasmatische Inselzell-Ak (ICA): Antigen: Ganglioside
- Anti-GAD-Ak (GADA): Antigen: Glutamatdecarboxylase (GAD65)
- Anti-IA-2-Ak (IA-2A): Antigen: Tyrosinphosphatase IA-2
- Insulin-Auto-Ak (IAA): Antigen: (Pro)Insulin
- Anti-ZnT8-Ak (ZnT8A) Antigen: Zink-Transporter 8

Nachweis der ICA durch Immunfluoreszenz sehr aufwändig und weitgehend ersetzt durch Anti-GAD-Ak und Anti-IA-2-Ak. Nachweis bei Typ 1-DM ICA 80 %, GADA und IA-2A zusammen > 90 %, IAA altersabhängig 20 - 90 % (diagnostisch nicht bedeutsam), Anti-ZnT8 (70 %)

- Temporäre Remissionen und Hinauszögern (2 - 3 J.) der Erkrankung in prädiabetischen Stadien unter Antikörpertherapie = Anti-CD3-Antikörper Teplizumab (Kosten ca. € 200.000)
- Histologie: Infiltration der Langerhans-Inseln mit autoreaktiven T-Lymphozyten

Sind sowohl GADA als auch IA-2-Ak bei einem gesunden Menschen positiv, liegt dessen Risiko, innerhalb der nächsten 5 Jahre an Typ 1-DM zu erkranken, bei ca. 20 %.

#### ▶ Typ 2-DM (> 90 %):

Pathophysiologisch spielen mehrere z.T. zu Beginn reversible Störungen eine Rolle:

##### • Gestörte Insulin- und Glukagonsekretion

Beim Typ 2-Diabetiker ist die frühe Phase der zweigipfligen postprandialen Insulinsekretion gestört; dies führt zu postprandialer Hyperglykämie. Zusätzlich besteht trotz Hyperglykämie eine konstant erhöhte Glukagonsekretion, was die Hyperglykämie weiter verstärkt.

##### • Apoptose der Inselzellen (Beta-Zellen):

Wenn mehr als 50 % der Inselzellen apoptotisch sind, führt dies zur Hyperglykämie.

##### • Herabgesetzte Insulinwirkung (Insulinresistenz) → mehrheitlich erworben

Urs: Prä-Rezeptordefekt, Rezeptordefekt mit Down-Regulation, Postrezeptordefekt = Störung der Signaltransduktion, z.B. der Tyrosinkinase, des RANKL (Receptor Activator of NF-κB-Ligand)

- Verminderte Inkretinsekretion und -wirkung (→ siehe GLP-1-basierte Therapie)

**Beachte:** Die Mehrzahl der Erkrankungen entwickelt sich auf dem Boden eines metabolischen Syndroms (= Wohlstandssyndrom + einer erheblichen genetischen Disposition): Gehäuftes Zusammentreffen der 4 Risikofaktoren: Stammbetonte (viszerale) Adipositas, Dyslipoproteinämie (Triglyzeride ↑, HDL-Cholesterin ↓), essenzielle Hypertonie und Glukosetoleranzstörung bzw. Typ 2-DM.

Definition des metabolischen Syndroms (IDF, 2005):

- Abdominelle Adipositas mit einem Taillenumfang  $\geq 94$  cm (m) bzw.  $\geq 80$  cm (w) bei Europäern oder BMI  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup>
- Plus zwei der folgenden Faktoren:
  - Triglyzeride  $> 150$  mg/dl (1,7 mmol/l)\*
  - HDL-Cholesterin  $< 50$  mg/dl (1,29 mmol/l)\* w  
 $< 40$  mg/dl (1,04 mmol/l)\* m

- Blutdruck > 130/85 mmHg\*)
- Nüchtern-Plasmaglukose > 100 mg/dl (5,6 mmol/l) oder Typ 2-DM
- \*) oder vorausgegangene Therapie einer dieser Störungen

Anm.: Es gibt auch hiervon abweichende Definitionen des metabolischen Syndroms (WHO, NCEP-ATP III).

**Merke:** Genetische Disposition, relative Überernährung mit Adipositas und Bewegungsmangel sind die entscheidenden Manifestationsfaktoren des Typ 2-DM! Ca. 80 % der Typ 2-Diabetiker sind mind. übergewichtig. Das Lebensalter bei Erstmanifestation sinkt kontinuierlich. Hohe Insulinspiegel vermindern die Sensibilität und Dichte der Insulinrezeptoren (= Down-Regulation) und damit die Insulinwirkung. Dies erfordert eine weitere Steigerung der Insulinspiegel (Circulus vitiosus). Therapeutisches Prinzip ist die Beseitigung von Hyperalimentation und Adipositas → durch absinkende Insulinspiegel erhöht sich wieder die Sensibilität und Dichte der Rezeptoren bis hin zur Normalisierung!

Anm: Ca. 40 - 80 % der Patienten mit metabolischem Syndrom/Adipositas haben ein Schlafapnoe-Syndrom.

Andere Manifestationsfaktoren des Typ 2-DM:

- Stressfaktoren: Infektionen, Traumen, Operationen, Apoplexie, Herzinfarkt u.a.
- Endokrinopathien und Medikamente werden in der Diabeteseinteilung gesondert berücksichtigt.

	Typ 1-DM	Typ 2-DM
Pathogenese	Führend Insulinmangel	Führend Insulinresistenz
Körperbau	Oft asthenisch - normal	Meist pyknisch/adipös
Beginn	Oft rasch	Langsam
Vorwiegendes Manifestationsalter	12. - 24. Lebensjahr	> 40. Lebensjahr
β-Zellen	Auf < 30 % vermindert	Ca. 40 - 50 % vermindert/eingeschränkt
Plasmainsulin / C-Peptid	Niedrig bis fehlend	Anfangs erhöht
Autoantikörper (IAA, GADA, IA-2A)	+	-
Stoffwechsellage	Labil	Stabil
Ketoseneigung	Stark	Gering
Ansprechen auf Sulfonylharnstoffe	Fehlend	Anfangs gut
Insulintherapie	Immer erforderlich	Nur bei Erschöpfung der Insulinreserve

► **Gestationsdiabetes (GDM):** [O24.4]

Def: Glukosetoleranzstörung, die erstmals in der Schwangerschaft (i.d.R. nach der 20. SSW) mit einem 75 g oralen Glukosetoleranztest (oGTT) unter standardisierten Bedingungen und qualitätsgesicherter Glukosemessung aus venösem Plasma diagnostiziert wird. Die Diagnose ist bereits mit einem einzigen erhöhten Glukosewert möglich. (Leider wird diesem recht sicheren Test in Deutschland gemäß GBA-Beschluss ein sog. 50 g-Screening-Test vorgeschaltet.) NBZ ≥ 92 mg/dl oder im oGTT nach 1 h ≥ 180 mg/dl oder nach 2 h ≥ 152 mg/dl.

Verschwindet in der Mehrzahl der Fälle nach Beendigung der Schwangerschaft; es besteht aber ein um bis 50 % erhöhtes Risiko für erneuten GDM bei nachfolgender Schwangerschaft. Das Risiko für permanente Manifestation eines DM (Typ 2) beträgt derzeit in Deutschland > 50 %/10 Jahren. Einerseits wird der GDM deshalb immer mehr als Prä-Typ 2-DM begriffen, andererseits demaskiert sich unter der Schwangerschaft gehäuft ein MODY-Typ 2-DM (1 - 2 %).

Vo.: Ca. 10 % aller Schwangeren! Prävalenz stetig steigend

- Ko.:
1. der Mutter: Erhöhtes Risiko für Präeklampsie, Harnwegsinfektionen, Frühgeburt, Hydramnion und Notwendigkeit einer operativen Entbindung
  2. des Kindes: DM ist die häufigste Ursache für erhöhte pränatale Mortalität und perinatale Morbidität des Kindes: Embryofetopathia diabetica mit erhöhtem Geburtsgewicht > 4.500 g und Makrosomie (asymmetrisch vergrößerte Körperteile oder Organe). Erhöhtes Risiko für Schulterdystokie, Atemnotsyndrom, postpartale Hypoglykämie, Hyperbilirubinämie, Hypokalzämie, Hypomagnesämie, Polyglobulie u.a.

**Genetik:** Polygen-multifaktorielle Vererbung; unterschiedliche Penetranz multipler diabetogener Gene

**Vererbung:**

- Typ 1-DM: Ist ein Elternteil erkrankt, beträgt das Risiko der Kinder bei Erkrankung des Vaters 4 - 8 %, bei Erkrankung der Mutter ca. 4 %. Sind beide Eltern Diabetiker, liegt das Risiko der Kinder bei 20 - 30 %.

Das Erkrankungsrisiko für Geschwister eines Typ 1-Diabetikers ist bei eineiigen Zwillingen hoch (ca. 35 %) und hängt ansonsten ab vom Ausmaß der HLA-Identität: HLA-identische Geschwister haben ein Risiko von ca. 18 %, HLA-haplotypidentische Geschwister haben ein Risiko von ca. 6 %; HLA-verschiedene Geschwister haben kaum ein Risiko, an Typ 1-DM zu erkranken. 80 - 90 % der Menschen mit Typ 1-Diabetes haben keine direkte familiäre Vorgeschichte.

- Typ 2-DM: Bei Kindern eines Typ 2-diabetischen Elternteils beträgt die Wahrscheinlichkeit eines späteren Typ 2-DM bis zu 50 %. Das Risiko für eineiige Zwillinge beträgt 100 %.

**KL.:** Während die Entwicklung zum manifesten Typ 1-DM rel. rasch verläuft, manifestiert sich der Typ 2-DM meist schleichend und unbemerkt. Deshalb wird im Rahmen des Check-up 35 von den Krankenkassen in Deutschland alle 3 Jahre eine Kontrolle der Nüchtern-Glukose angeboten. Der oGTT ist keine Screeninguntersuchung, wird nur in der Schwangerschaft und bei med. Notwendigkeit von den Krankenkassen bezahlt.

- Unspezifische Allgemeinsymptome: Müdigkeit, Leistungsminderung u.a.
- Symptome infolge Hyperglykämie und Glukosurie mit osmotischer Diurese: Polyurie, Durst, Polydipsie, Gewichtsverlust
- Symptome durch Störungen im Elektrolyt- und Flüssigkeitshaushalt: Nächtliche Wadenkrämpfe, Sehstörungen (wechselnder Turgor der Augenlinse und Glaskörper)
- Hauterscheinungen: Pruritus (oft genito-anale Lokalisation), bakterielle / mykotische Hautinfektionen (z.B. Furunkulose!, Candidamykose!), Rubeosis diabetica (diabetische Gesichtsröte), Necrobiosis lipoidica (meist an beiden Unterschenkeln, bräunlich rote Herde, Ulzeration möglich)
- Potenzstörungen, Amenorrhö

**Ko.:** 1. Makro-/Mikroangiopathie:

Man unterteilt die diabetischen Gefäßschäden in eine unspezifische Makroangiopathie und eine diabetesspezifische Mikroangiopathie mit Verdickung der kapillären Basalmembranen. Die durch die Blutzuckererhöhung bedingte nichtenzymatische Glykosylierung von Proteinen der Basalmembranen scheint eine Rolle bei der Entstehung der Mikroangiopathie zu spielen.

### 1.1. Makroangiopathie mit Früharteriosklerose:

- Koronare Herzkrankheit: Stenosierende Arteriosklerose der großen epikardialen Koronararterien: Ca. 50 % der Diabetiker sterben an Herzinfarkt!

Besonderheiten der KHK bei DM:

- Diffuses Verteilungsmuster der KHK mit bevorzugtem Befall distaler Koronararterien und des Hauptstammes und oft erhöhter Kalkscore im Kardio-CT → Bypass oft besser als Stent
- Gestörte Angina-Wahrnehmungsschwelle durch ADN (siehe unten) mit evtl. schmerzlosen Infarkten und stummer Ischämie
- Ungünstigere Prognose

- Periphere arterielle Verschlusskrankheit

- Arterielle Verschlusskrankheit der Hirnarterien und ischämischer Hirninfarkt

**Merke:** Diabetiker, die gleichzeitig an Hypertonie leiden, haben eine 20 - 30 %ige Wahrscheinlichkeit für ein kardiovaskuläres Ereignis (Herzinfarkt, Schlaganfall) innerhalb der nächsten 10 Jahre (Hochrisikogruppe). Entwickelt sich zusätzlich eine diabetische Nephropathie, sehen wir ein 2 - 3 x höheres 10-Jahres-Risiko für ein MACE (ACR → Hauptprädiktor). Der Schmerz als Warnsymptom (Angina pectoris, Claudicatio intermittens) kann infolge begleitender Neuropathie fehlen (→ Klassifikation der pAVK nach Fontaine bei PNP oft nicht anwendbar)!

Dennoch ist die Herzinsuffizienz die häufigste kardiovaskuläre Folgeerkrankung des Diabetes und gleichzeitig haben zwischen 25 und 40 % der Patienten mit einer Herzinsuffizienz auch einen - oft unerkannten - Diabetes.

Auch aus diesen Gründen versterben einerseits ca. 75 % aller Diabetiker an kardiovaskulären Komplikationen, andererseits leiden ca. 75 % der Patienten mit kardiovaskulären Erkrankungen an einem DM oder einer Störung der Glukosetoleranz, wobei die Mortalität in Industrienationen in den letzten Jahren stark rückläufig ist.

### 1.2. Mikroangiopathie:

- Glomerulosklerose (M. Kimmelstiel-Wilson)
- Retinopathie
- Neuropathie
- Mikroangiopathie der intramuralen kleinen Koronararterien (small vessel disease)

#### 1.2.1. Diabetische Nephropathie (DN) [E10 bis 14.20 + N08.3\*] (siehe auch Kapitel Nephrologie)

- Def:
- Persistierende Albuminurie (> 30 mg/g Kreatinin), die mindestens zweimal im Abstand von 3 - 6 Monaten bestätigt wird.
  - Progressiver Rückgang der eGFR
  - Arterielle Hypertonie

Ep.: Prävalenz der DN bei Typ 2-DM ca. 30 - 35 % (massiv erhöht in Cluster 3 der neuen Klassifikation), bei Typ 1-DM ca. 20 - 30 %. In Europa und Nordamerika sind mehr als ca. 40 % aller Dialysepatienten Diabetiker → häufigste zur Dialyse führende Grunderkrankung!

Pat.: Histologisch wird die DN in 4 Stadien eingeteilt:

I: Verbreiterung der GBM elektronenmikroskopisch

II: Mesangiale Expansion in > 25 % des Mesangiums - IIa mild, IIb schwer

III: Noduläre Sklerose (Kimmelstiel-Wilson)

IV: Fortgeschrittene diabetische Glomerulosklerose in > 50 % der Glomeruli

Pg.: Genetische Prädisposition, Hyperglykämie, Aktivierung von Wachstumsfaktoren in den Nieren (TGF- $\beta$ 1 [Hauptakteur], VEGF, Angiotensin II u.a.)

→ Renale Hypertrophie mit Größenzunahme der Glomeruli und Verdickung der Basalmembran

→ Erhöhte glomeruläre Permeabilität mit Mikroalbuminurie

→ Glomerulosklerose, interstitielle Fibrose

→ Niereninsuffizienz

Risikofaktoren für eine beschleunigte Progredienz der DN:

- Arterielle Hypertonie → Blutdruck-Zielkorridor bei Vorliegen einer arteriellen Hypertonie systolisch  $\geq 120 - 130$  mmHg ( $\geq 130$  bis  $< 140$  mmHg bei über 65-jährigen) und diastolisch  $\geq 70$  bis  $< 80$  mmHg empfohlen, falls klinisch toleriert. (ESC/ESH 2018). RR-Kontrolle bevorzugt mit ACE-Hemmern oder AT $_1$ -Blockern, die renoprotektiv wirken.

- Ausmaß der Albuminurie

- Güte der Diabeteseinstellung (HbA $_{1c}$ )

- Cluster 3 der neuen Klassifikation = SIRD

**Merke:** Frühsymptom ist eine Mikroalbuminurie von  $\geq 30$  mg/g Kreatinin im Spontanurin (da die Mikroalbuminurie eine Schwankungsbreite von bis zu 40 % hat, Labortest wiederholen). Wenn Proteinurie im Streifentest → immer quantitative Bestimmung des Eiweiß-Kreatinin-Quotienten. Das Risiko renaler + kardiovaskulärer Komplikationen steigt mit dem Ausmaß der Albuminurie kontinuierlich an! Passagere/reversible Erhöhungen der Albuminausscheidung kommen vor bei Harnwegsinfekten, fieberhaften Erkrankungen, körperlichen Anstrengungen, Entgleisungen von Blutdruck oder Blutzucker u.a.

Häufigkeit und Schwere der diabetischen Nephropathie korrelieren mit der Dauer des DM, der Güte der Stoffwechselführung, sowie der günstigen Blutdruckeinstellung. Frühzeitige Therapie, insbesondere mit RAS-Hemmern + SGLT2-Hemmern (Finerenon, Inkretinmimetika) verzögert die Progression der diabetischen Nephropathie zur terminalen Niereninsuffizienz und reduziert die kardiovaskuläre + Gesamtmortalität!

Die klinischen Stadien der diabetischen Nephropathie entsprechen den Stadien der chronischen Niereninsuffizienz (NKF-K/DOQI → siehe dort). Zur Berechnung wird die MDRD-Formel (die in den meisten Studien Verwendung findet) oder EPI-CKD-Formel herangezogen (→ siehe Stichwortverzeichnis). Der Grad der Albuminurie korreliert mit der Höhe der GFR ermöglicht eine Risikoabschätzung für renale und kardiovaskuläre Komplikationen.

### **1.2.2. Diabetische Retinopathie = dRP [E10 bis 14.30 + H36.0\*]:**

Vo.: Typ 1-DM: 50 - 60 % nach ca. 25 - 30 Jahren, davon schwere dRP ca. 15 %

Typ 2-DM: 25 % nach 15 Jahren (Häufung im Cluster 2 = SIDD)

30 % aller Erblindungen in Europa durch DM! DM ist die häufigste Ursache nicht-traumatischer Erblindungen im Erwachsenenalter und die früheste Manifestationsform der diabetischen Mikroangiopathie. Wenn einmal aufgetreten, dann Euglykämie mit untergeordnetem Einfluss auf die Progression.

Pg.: Mikroangiopathie; Gefäßneubildungen werden durch einen angiogenen Wachstumsfaktor ausgelöst. Schlechte diabetische Stoffwechselführung, Hypertonie und Rauchen verschlechtern den Verlauf der diabetischen Retinopathie.

• Nichtproliferative Retinopathie (Hintergrundretinopathie, background retinopathy):

- Mild: Nur Mikroaneurysmen

- Mäßig: Zusätzlich einzelne intraretinale Blutungen, venöse Kaliberschwankungen mit perlschnurartigen Venen

- Schwer: Mikroaneurysmen und intraretinale Blutungen in allen 4 Quadranten oder perlschnurartige Venen in mind. 2 Quadranten oder intraretinale mikrovaskuläre Anomalien (IRMA) in mind. 1 Quadranten (4-2-1-Regel)

• Proliferative Retinopathie:

Gefäßneubildungen an der Papille = NVD (neovascularization of the disc) oder an der übrigen Retina = NVE (neovascularization elsewhere) mit oder ohne Glaskörper- oder epiretinalen Blutungen.

Ko.: Netzhautablösung/-blutung (vor allem bei zu rascher Blutzuckersenkung oder stark schwankenden BZ-Werten) und sekundäres neovaskuläres Glaukom

• Diabetische Makulopathie: a) fokal - b) diffus - c) ischämisch

Makulaödem, harte Exsudate, retinale Blutungen; zentrales Sehvermögen gefährdet!

**1.2.3. Diabetische Neuropathie [E10 bis 14.40 + G63.2\*]:** Abhängig von Diabetesdauer und Güte der Stoffwechseleinstellung. Nach 10-jähriger Krankheitsdauer haben > 50 % der Patienten eine Neuropathie (vor allem Cluster 2 = SIDD).

Pg.: Unklar; möglicherweise Mikrozirkulationsstörung der Vasa nervorum + metabolische Störungen (z.B. nicht-enzymatische Glykosylierung von Strukturproteinen)

- Periphere sensomotorische Polyneuropathie (80 %): Distal betonte, symmetrische sensible Reiz- und Ausfallserscheinungen, bes. FüÙe/Unterschenkel (→ Parästhesien, "burning feet"), Areflexie (ASR beidseits nicht auslösbar), verminderte Thermosensibilität und Schmerzempfindung, später evtl. auch motorische Störungen. Bestimmung der Oberflächensensibilität mit dem Monofilament nach Semmes-Weinstein, das mit einem Druck von 10 g an definierten Punkten der Fußsohle aufsetzt. Bestimmung des Temperaturempfindens z.B. mit Tip-Therm®.

Frühsymptom: Vermindertes Vibrationsempfinden → Messung mittels 64 Hz-Stimmgabel (128 Hz) nach Rydel-Seiffer mit Graduierung von 0 - 8. Die angeschlagene Stimmgabel wird an definierten Punkten aufgesetzt und der Patienten gibt bei geschlossenen Augen an, wie lange er das Vibrieren verspürt. Ein Graduierungswert < 5 von insgesamt 8 Graduierungen ist (altersabhängig) pathologisch. Auch bei der Sensibilitäts-/ Lokalisationsuntersuchung mit dem Monofilament die Patienten immer die Augen schließen lassen.

Spezialdiagnostik:

- Neurotip (Setzen eines definierten Schmerzreizes mittels steriler Einmalnadel), weil die Erfassung der funktionsgestörten Schmerzfasern mit dem Monofilament z.T. nur unzureichend gelingt.
- Pedografie (= Messung des dynamischen Druckverteilungsmusters der Fußsohlen beim Gehen): Verminderte Zehenbelastung bei verstärkter Druckbelastung der Vorfußballen oder anderer pathologisch plantarisierter Strukturen
- Messung der Nervenleitgeschwindigkeit: Bei Polyneuropathie ↓  
DD: Polyneuropathien anderer Genese: Alkoholabusus, neurotoxische Medikamente (Nitrofurantoin, Barbiturate, Zytostatika u.a.), Chemikalien (Lösungsmittel, Schwermetalle, Insektizide u.a.), paraneoplastisches Syndrom, Malabsorptionssyndrom, Autoimmunerkrankungen (z.B. Kollagenosen, GBS)
- Seltene Manifestationen der diabetischen Neuropathie: z.B.
  - Diabetische Schwerpunkt polyneuropathie:  
Asymmetrische proximale diabetische Neuropathie mit Schmerzen in der Hüftregion und am vorderen Oberschenkel, Abschwächung des ipsilateralen PSR, evtl. Parese des M. quadriceps.
  - Periphere N. facialis-Parese; Paresen der Augenmuskeln (Doppelbilder)
  - Diabetische Radikulopathie mit meist einseitigen gürtelförmigen Schmerzen und Sensibilitätsstörungen im Bereich des Stammes
- Autonome diabetische Neuropathie (ADN): (am zweithäufigsten!)  
Def: Neuropathie des vegetativen Nervensystems (sympathisches und parasympathisches Nervensystem)
  - Kardiovaskuläre ADN:  
Vo.: 15 % der Diabetiker bei Diagnosestellung, > 50 % der Diabetiker nach 20jähriger Krankheitsdauer; 3-Jahres-Mortalität bis 50 %
    - Stumme Myokardischämie und schmerzlose Herzinfarkte mit erhöhter Mortalität
    - Verminderte Herzfrequenzvariabilität bis zur Frequenzstarre (Frühsymptom)
    - Ruhetachykardie (Vagusschädigung)
    - Asympathikotone orthostatische Hypotonie (Sympathikusschädigung): Absinken des systolischen/diastolischen Blutdrucks und fehlende reflektorische Tachykardie bei Stehbelastung.
    - Evtl. aufgehobene oder umgekehrte zirkadiane Blutdruckkurve mit erhöhten nächtlichen Blutdruckwerten (Non-Dipper)
  - ADN des Magen-Darm-Traktes (selten parasympathische Schädigung)
    - Ösophagusmotilitätsstörung, evtl. mit Dysphagie (selten)
    - Gastroparese mit Völlegefühl/Druck im Oberbauch, evtl. postprandialer Hypoglykämie  
Di.: Sonografie (Nachweis einer verminderten Peristaltik und verzögerten Magenentleerung), Magenentleerungs-Szintigrafie (Goldstandard)
    - ADN des Darmes mit postprandialer Diarrhö im Wechsel mit Obstipation
    - Anorektale Dysfunktion (Inkontinenz)

- ADN des Urogenitalsystems (häufig Schädigung des Parasympathikus)
  - Blasenatonie und -entleerungsstörung evtl. mit Restharnbildung und Prädisposition für Harnwegsinfekte
  - Erektile Impotenz und Ausbleiben der nächtlichen/morgendlichen spontanen Erektionen (ca. 50 % aller Diabetiker abhängig von Alter und Erkrankungsdauer)
- ADN des neuroendokrinen Systems:  
Reduktion/Fehlen der hormonellen Gegenregulation bei Hypoglykämie (verminderte Wahrnehmung einer Hypoglykämie!)  
Verminderte Katecholaminausschüttung unter orthostatischer und körperlicher Belastung (siehe oben)
- ADN der Thermoregulation:  
Verminderte Schweißsekretion, Vasodilatation (warmer + trockener diabetischer Fuß!)
- ADN der Pupillen: Gestörte Pupillenreflexe (Spezialdiagnostik mittels Pupillometrie: Herabgesetzte Mydriasegeschwindigkeit)

#### 1.2.4. Diabetisches Fußsyndrom (DFS): [E10 - E14.74]

Def: Syndrom verschiedener Krankheitsbilder unterschiedlicher Ätiologie, bei dem es durch Verletzungen am Fuß zu (infizierten) Ulzera kommen kann und zu Komplikationen bis hin zur Extremitätenamputation.

Das diabetische Fußsyndrom ist die häufigste Komplikation des Diabetikers! In Deutschland werden deshalb ca. 40.000 Amputationen/Jahr durchgeführt.

Schweregrade der Fußläsionen: Klassifiziert anhand der Einteilung nach Wagner (Grad 1 - 5 → Tiefe der Läsion) und Armstrong (A - D → begünstigende Faktoren)

	<b>Grad 0</b>	<b>Grad 1</b>	<b>Grad 2</b>	<b>Grad 3</b>	<b>Grad 4</b>	<b>Grad 5</b>
<b>A</b> (bsence of other problems)	Risikofuß ohne Läsion	Oberflächliche Wunde	Wunde reicht bis Sehne oder Kapsel	Wunde reicht bis Knochen oder Gelenk	Nekrose von Teilen des Fußes	Nekrose des gesamten Fußes
<b>B</b> (acterial)	mit <u>Infektion</u> (häufigste Erreger: Staphylokokken, Enterokokken, Pseudomonas aeruginosa; oft Mischinfektionen)					
<b>C</b> (irculation)	mit <u>Ischämie</u>					
<b>D</b> (ouble problem)	mit <u>Infektion und Ischämie</u>					

Das Problem des Menschen mit Diabetes ist immer die Neuropathie, auch wenn andere Ursachen beteiligt sein oder führend sein können! Ohne Neuropathie verlief die Wundheilung bei normalem HbA<sub>1c</sub> fast wie bei Stoffwechselgesunden. Dieser Fehlwahrnehmung sollte man durch eine entsprechende Schulung (z.B. NEUROS) begegnen = Aufmerksamkeits- und Verhaltenstraining.

- Neuropathischer diabetischer Fuß (fast 100 % aller DFS):
  - Warmer Fuß mit sehr trockener Haut (kein Fußgeruch!) und Hyperkeratosen
  - Gestörte Sensibilität (Vibrationsempfinden und/oder Berührungsempfindlichkeit ↓), reduziertes bis komplett aufgehobenes Schmerz- und Temperaturempfinden (mit Gefahr unbemerkter Traumen und Infektionen!)
  - Tastbare Fußpulse und Knöchel-Arm-Druckindex (Knöcheldruck/Oberarmdruck) normal (Einschränkung durch Mediasklerose)
  - Transkutaner pO<sub>2</sub> normal
  - Störung der Abrollbewegung des Fußes mit erhöhter Druckbelastung an pathologisch plantarisierten Strukturen, die üblicherweise dem Druck (der Abrollbewegung) nicht, bzw. nicht in diesem Maße (schutzlos) ausgesetzt sind.
  - Ko.: Infektionen; schmerzlose neuropathische Ulzera (= Malum perforans) an druckbelasteten Stellen (Zehen, Ferse, Fußballen), oft ausgelöst durch fehlende oder falsche Fußpflege, falsches Schuhwerk, (Mikro-)Traumen, eingeschränkte Gelenkbeweglichkeit („limited joint mobility“, Cheiroarthropathie) u.v.a.
- Diabetisch-neuropathische Osteoarthropathie (DNOAP) mit Nekrosen im Bereich der Metatarsophalangealgelenke, Tarsometatarsalgelenke (60 %) oder anderer Fußgelenke (Charcot-Fuß). Frühsymptom: Entzündliches Lymphödem des Fußes und Osteoödem (MRT) sowie Temperaturdifferenz zur Gegenseite > 1°C (**Cave:** In 10 % beidseits!)
- Ischämischer Fuß bei peripherer arterieller Verschlusskrankheit (pAVK), insbes. der Unterschenkelarterien (ca. 50 % aller DFS):  
Anamnese:
  - Diabetes mellitus
  - Arterielle Hypertonie
  - Claudicatio intermittens (fehlt oft / ist abgeschwächt bei Neuropathie!)
  - Hypercholesterinämie
  - Rauchen

**Befund:**

- Kühler, blasser Fuß mit evtl. livider Verfärbung (Aussehen empfindlicher als ABI)
- Keine oder schwach tastbare Fußpulse
- Dopplerindex (RR Knöchel : RR Arm) < 0,9; transkutane pO<sub>2</sub> ↓
- Erhaltene Sensibilität = Schmerzen (wenn keine Neuropathie!)
- Nekrosen/Gangrän der Akren, drohende Amputationen (Deutschland: Über 60.000 Amputationen/J. → 2/3 Diabetiker, aber Reduktion in spezialisierten Zentren!)

**Di.:** Pulsstatus, Knöchel-Arm-Druckindex, farbkodierte Duplexsonografie, MR-Angiografie; ggf. arterielle DSA oder CO<sub>2</sub>-Angiografie; Konsil mit Angiologen

**Merke:** Die klinische Untersuchung der nackten Füße inklusive deren Palpation und Funktion (Stand und Gang) ist die unverzichtbare Screeninguntersuchung des diabetischen Fußes! Solange eine relevante PAVK fehlt, sind die Fußpulse gut tastbar!

**2. Diabetische Kardiomyopathie** (siehe auch Kapitel Kardiologie)

**Merke:** KHK, arterielle Hypertonie und diabetische Kardiomyopathie sind die 3 Risikofaktoren für die Entwicklung einer Herzinsuffizienz (oft HFpEF) bei Diabetikern. Die 5-Jahresüberlebensrate von Patienten, die gleichzeitig an DM und Herzinsuffizienz leiden, liegt je nach Studie und Komorbiditäten bei ca. 50 %. Etwa 30 % (HFpEF) bis 50 % (HFpEF) aller Patienten mit Herzinsuffizienz leiden gleichzeitig an einem Diabetes.

3. Resistenzminderung mit Neigung zu bakteriellen Haut- und Harnwegsinfektionen, Parodontitis
4. Lipidstoffwechselstörung: Triglyzeride ↑, LDL-Cholesterin ↑, HDL-Cholesterin ↓
5. Fettleber (NAFL → NASH → HCC) - Folgen der Fettleber in den USA mittlerweile häufigster Grund für Lebertransplantationen (vor Virushepatitis)
6. Bei Typ 2-DM erhöhtes Risiko für Karzinome des Verdauungstraktes, des Endometriums, der Nieren und der Harnblase

- Di.:**
- ▶ **Anamnese** (familiäre Belastung, Schwangerschaftskomplikationen u.a.)
  - ▶ **KL.:** Müdigkeit, Polyurie, Polydipsie u.a.
  - ▶ **Lab:**

- **Blutzuckerbestimmung:** Spezifisch nach der Hexokinase-(Zwischenferment-)Methode: Die weitgehend deckungsgleichen Zwischenstadien der gestörten Glukosehomöostase (impaired fasting glucose = IFG) und der pathologischen Glukosetoleranz sind Risikofaktoren für einen zukünftigen DM und kardiovaskuläre Erkrankungen.

Diagnostische Richtwerte zur Feststellung eines DM (American Diabetes Association und Leitlinien der Deutschen Diabetes-Gesellschaft):

Stadium	Nüchtern-Plasma-Glukose venös	Gelegenheits-Blutzucker	Oraler Glukose-Toleranz-Test (oGTT)
Diabetes	≥ 126 mg/dl (≥ 7,0 mmol/l) *)	≥ 200 mg/dl (≥ 11,1 mmol/l) und Symptome eines DM	2 h-Wert ≥ 200 mg/dl (≥ 11,1 mmol/l)
Abnorme Nüchtern-Glukose („impaired fasting glucose = IFG“)	100 - 125 mg/dl (5,6 - 6,9 mmol/l)		Gestörte Glukosetoleranz („impaired glucose tolerance = IGT“) 2 h-Wert 140 - 199 mg/dl (7,8 - 11,0 mmol/l)
Normal	< 100 mg/dl (< 5,6 mmol/l)		2 h-Wert < 140 mg/dl (< 7,8 mmol/l)

\*) **Memo:** Wegen des unterschiedlichen Wassergehaltes von Vollblut und Plasma liegen die Glukosekonzentrationen im Plasma (bei einem Hämatokritwert von 43 %) im Durchschnitt um 11 % höher. Um das Risiko einer Verwechslung auszuschließen, hat die International Federation of Clinical Chemistry vorgeschlagen, Glukoseergebnisse - unabhängig von Probentyp und Messmethode - nur noch als Plasmawerte anzugeben (und zu messen).

**Erläuterungen:**

Der Nüchternblutzucker = NBZ (Nüchternplasmaglukose) ist der entscheidende Test für die Diagnose eines DM und für die Therapiekontrolle. Er ist genauso aussagekräftig im Hinblick auf das Risiko, eine Mikroangiopathie zu entwickeln wie der 2 h-Wert des oGTT. Er ist einfach, ausreichend und kostengünstig. Der Wert muss, bevor die Diagnose gestellt werden kann, durch eine qualitätsgesicherte Wiederholungsbestimmung verifiziert werden.

„Nüchtern“ ist definiert durch eine Periode ohne Nahrungsaufnahme von 8 Stunden.

Gelegenheitsblutzucker = zu jeder Tageszeit, ohne Beziehung zu Mahlzeiten

Die BZ-Werte durch Streifen-testgeräte dürfen gesetzlich bis max. 15 % vom tatsächlichen Wert abweichen und deshalb zur Diagnostik nicht herangezogen werden.

- Anm.:
- Normale Blutglukosewerte sind derzeit als  $\leq 100$  mg/dl ( $\leq 5,6$  mmol/l) im venösen Plasma definiert.
  - Bei Serumglukose ist wegen der in vitro-Glykolyse mit der Möglichkeit falsch niedriger Blutzuckerwerte zu rechnen (Abbau ca. 10 % je Stunde!). Serumproben ohne Zusatz von Glykolysehemmstoffen (Citrat + Natriumfluorid) dürfen nicht zur Glukosebestimmung verwendet werden.

DD: Passagere Hyperglykämien bei Herzinfarkt, Apoplexie, Entzündungen, erhöhtem intrakraniellen Druck, akuten Vergiftungen (CO), nach Gabe von Thiazidsaluretika u.a.

- **Bestimmung der Glukose im Urin** (im Morgenurin, in Tagesportionen und im 24 h-Urin):

Hat durch die einfache Möglichkeit der Blutzuckermessung an Bedeutung verloren.

Die normale Nierenschwelle für Glukose liegt bei ca. 180 mg/dl Glukose im Blut (in der Schwangerschaft niedriger bei  $< 150$  mg/dl  $\rightarrow$  deshalb bei Schwangeren zum Screening immer oGTT). Die physiologische Glukosurie beträgt bis 15 mg/dl. Die untere Nachweisgrenze der Teststreifen liegt bei ca. 30 mg/dl.

**Beachte:** Liegt eine diabetische Nephropathie vor, so kann die Nierenschwelle für Glukose erhöht sein (bis 300 mg/dl), d.h. man findet in diesen Fällen trotz Hyperglykämie von z.B. 200 mg/dl noch keine Glukosurie. Daher schließt das Fehlen von Glukose im Harn einen manifesten DM nicht aus (Diabetesfrühd Diagnose mittels NBZ)! Deshalb ist die Harnzuckerselbstkontrolle nicht geeignet, ein normoglykämisches Therapieziel zu kontrollieren.

Findet sich ausnahmsweise eine Glukosurie bei Normoglykämie, so handelt es sich entweder um einen (seltenen) renalen DM infolge tubulärer Partialfunktionsstörung oder es liegt die Einnahme eines SGLT2-/1(-)Hemmers vor (siehe unten). Hereditäre Zuckerstoffwechselstörungen (Pentosurie, Laktosurie, Galaktosurie, Fruktosurie) werden durch die Spezifität der enzymatischen Bestimmungsmethode ausgeschlossen.

- **Bestimmung von Ketonkörpern** ( $\beta$ -Hydroxybutyrat, Acetoacetat, Aceton) im Blut. Schnelltestgeräte weisen die Leitsubstanz  $\beta$ -Hydroxybutyrat nach. Bei diabetischer Ketoazidose (DKA) finden sich Werte  $> 3,0$  mmol/l  $\beta$ -Hydroxybutyrat.

- **Oraler Glukosetoleranztest (oGTT) und Screening auf Gestationsdiabetes:**

Der oGTT wird für die klinische Routine nicht empfohlen.

Ind: 1. Unklare Fälle

2. Alle Schwangeren regelhaft in der 24. - 28. Woche (in Spezialfällen auch früher/später)

Vorbedingungen:

Vermeidung eines Hungerzustandes (mind. 3 Tage  $\geq 150$  g KH/d), ab 22 Uhr vor dem Test nüchtern bleiben, keine febrile Erkrankung, bei Frauen nicht zum Zeitpunkt der Menstruation

Störfaktoren: Verschiedene körperliche Faktoren (z.B. Herzinfarkt, längere Bettlägerigkeit) sowie Medikamente (z.B. Saluretika, Kortikosteroide, Östrogene) führen zu erhöhten Blutzuckerwerten. Deshalb sollte der oGTT (wenn möglich) ohne diese Störfaktoren durchgeführt werden. Bei strukturellen Magen- und Dünndarmveränderungen ist nur der intravenöse Glukosetoleranztest verwertbar, der allerdings für Schwangere nicht untersucht ist (= keine Grenzwerte).

Durchführung: Nach Bestimmung des NBZ trinken Erwachsene eine Testlösung mit 75 g Glukose. Blutzuckerbestimmung nüchtern und 120 Min. nach der Zuckeraufnahme (bei Schwangeren auch 1 h nach Testbeginn). Sind die Nüchternblutzuckerwerte bereits eindeutig pathologisch (siehe oben), so ist der oGTT kontraindiziert. (Normwerte für Nichtschwangere: Siehe oben; Diagnose des Gestationsdiabetes: Siehe dort)

- **Kontinuierliche BZ-Messung über 72 h (oder länger)** - Sensormethode oder Mikrodialyse: Spezialdiagnostik bei speziellen Fragestellungen (z.B. Abklärung unerklärlicher Hypo- oder Hyperglykämien)

- **Screeninguntersuchung auf DM:**

**Nüchtern-BZ** für Personen  $> 45$  J. alle 3 J. (bei Risikogruppen früher):

- Übergewicht, Bluthochdruck, Dyslipoproteinämie
- Positive Familienanamnese (Verwandte 1. Grades) oder positiver Find-Risk-Test
- Angehörige von Volksgruppen mit hohem Diabetesrisiko (z.B. Indigene, Südasiaten)
- Nach Entbindung eines Kindes mit Geburtsgewicht  $> 4.500$  g
- Nach Gestationsdiabetes in der Anamnese
- Pathologische Glukosetoleranz oder gestörte Glukose-Homöostase in der Anamnese

- **HbA<sub>1c</sub>:**

Durch nicht-enzymatische Glykierung des Hämoglobins entsteht über eine instabile Aldimin-Form (labiles HbA<sub>1</sub>) die stabile Ketoamin-Form (stabiles HbA<sub>1</sub>), die aus den 3 Unterfraktionen a, b und c besteht. Da die wesentliche c-Fraktion (HbA<sub>1c</sub>) 70 % des HbA<sub>1</sub> entspricht, haben beide Parameter gleiche Aussagekraft. Der HbA<sub>1c</sub> integriert die Blutzuckerwerte der letzten 1 - 3 Monate und gewichtet die letzten 4 - 6 Wochen am stärksten.

Falsch niedrige Konzentrationen werden bei verkürzter Erythrozytenlebenszeit (z. B. hämolytische Anämien, Hämoglobinopathien), nach Transfusionen und in der ersten Schwangerschaftshälfte gemessen. Falsch hohe Konzentrationen können auftreten bei fortgeschrittener Niereninsuffizienz, Hyperlipoproteinämie, chronischem starkem Alkoholabusus, zweiter Schwangerschaftshälfte und Stillzeit. Bei unerklärlich diskrepanten HbA<sub>1c</sub>-Werten kann manchmal eine Fruktosaminbestimmung sinnvoll sein. Außerdem lohnt es sich immer, im Messgerätespeicher frühere Blutzuckerwerte nachzusehen.

Referenzbereich für HbA<sub>1c</sub>: < 5,7 % bei Nicht-Diabetikern  
≥ 6,5 % bei Diabetikern

**Merke:** Jeder Anstieg des HbA<sub>1c</sub> um 1 % erhöht das Herzinfarktisiko um ~10 - 20 % (Studien: UKPDS, ADVANCE). HbA<sub>1c</sub> ≥ 6,5 % (Diabetes-Definition) geht mit einem 2- bis 4-fach erhöhten KHK-Risiko einher. Schon bei Prädiabetes (HbA<sub>1c</sub> 5,7 - 6,4 %) steigt das Infarktisiko um ~ 30 - 50 %.

- **Screening auf weitere Risikofaktoren** für eine vorzeitige Arteriosklerose (Hypertonie, Hyperlipoproteinämie, Rauchen u.a.)
- **Test auf Mikroalbuminurie** (mind. 1 x/Jahr bei Diabetikern)
- **HOMA-Insulin-Resistenz (IR)-Index** (Homeostasis Model Assessment) dient der Abschätzung der endogenen Insulin-Resistenz und wird aus der Nüchtern-Insulin- und Nüchtern-Glukose-Konzentration nach einer mindestens 8-stündigen Nahrungskarenz berechnet.  
Ind: Diabetes mellitus (spez. neue Klassifikation), polyzystisches Ovarialsyndrom (PCO), Zyklusstörungen, Infertilität, Subgruppenanalyse des Diabetes (alternativ C-Peptid-Glukose-Quotient)
- **HOMA-Betazellfunktionsindex:**  
Normale Insulinsensitivität liegt bei einem IR um 1 vor. Allerdings sollten beide HOMA -Werte in Zusammenschau beurteilt werden, da zum Beispiel eine erhöhte Insulinsensitivität mit einem IR < 1 eine vermeintlich verminderte β-Zellfunktion unter 100 % simulieren kann.  
→ Für beide Indizes existieren kostenlose Rechner im Internet.

- Th.:**
1. Ernährung, Gewichtsnormalisierung
  2. Körperliche Aktivität erhöht sowohl die Sensitivität der Muskeln für Insulin als auch die nicht-insulinvermittelte Glukoseaufnahme!
  3. Medikamente: a) orale Antidiabetika, b) GLP-1-Analoga, c) Insuline
  4. Patientenschulung und -kontrollen
  5. Ausschaltung/Therapie evtl. weiterer Risikofaktoren einer vorzeitigen Arteriosklerose
  6. Prophylaxe und Therapie von Komplikationen

### **Zu 1. - ERNÄHRUNG:**

Beim Typ 2-DM muss bereits im Stadium der Glukosetoleranzstörung die Therapie beginnen, um Gefäßkomplikationen zu verhindern! Dabei haben die Gewichtsnormalisierung und körperliche Aktivität/Sport hohe Priorität (Zielwert: BMI < 25). In den seltenen Fällen, wo dies dauerhaft gelingt, ist eine medikamentöse Therapie oft überflüssig und die Manifestation des DM kann verhindert oder wenigstens verzögert werden. Das ist auch der Grund, warum in Hungerzeiten die Anzahl manifester Typ 2-Diabetiker am niedrigsten ist.

Der Typ 1-Diabetiker ist oft normalgewichtig. Aber auch er sollte Übergewicht/Adipositas vermeiden, um keine zusätzliche Insulinresistenz zu entwickeln. Während bei der konventionellen Insulintherapie die Mahlzeiten und Bewegung an ein starr vorgegebenes Insulintherapieschema angepasst werden müssen, wird bei der intensivierten Insulintherapie die Insulinzufuhr bedarfsgerecht an eine relativ frei bestimmbare Nahrungsaufnahme und Bewegung angepasst (siehe unten)!

Der tägliche Energiebedarf richtet sich nach dem (altersabhängigen) Grundumsatz und der körperlichen Aktivität (Tabellen *siehe Internet*).

Körper-Massen-Index (Body mass-Index):

$\frac{\text{Körpergewicht (kg)}}{\text{Körpergröße (m)}^2}$  → Normalindex: 18,5 - 24,9 kg/m<sup>2</sup>

1 kcal = 4,2 Kilojoule
1 g Kohlenhydrat = 4,1 kcal = 17,2 kJ
1 g Eiweiß = 4,1 kcal = 17,2 kJ
1 g Fett = 9,3 kcal = 38,9 kJ
1 g Alkohol = 7,1 kcal = 29,3 kJ

- Keine großen Mahlzeiten, sondern mehrere, meist 5, kleine.

Zusammensetzung der Kost und empfohlenes Körpergewicht bei Typ 2 (Zusammenfassung gemäß Leitlinien DGE und DDG):

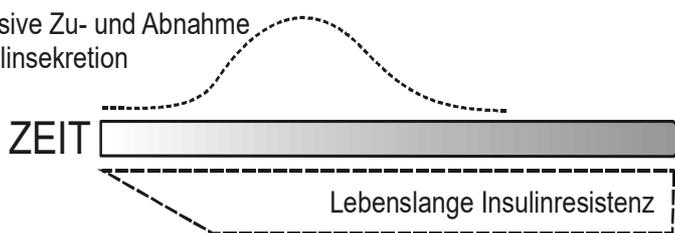
- **Körpergewicht:** Normalgewicht anstreben (BMI 18,5 - 24,9 kg/m<sup>2</sup>). Wenn dies nicht erreichbar ist → Gewichtsabnahme von 5 - 10 %, abhängig vom Ausgangsgewicht → dann halten. Wer an Adipositas leidet, kann durch eine Gewichtsabnahme von mindestens 15 Kilogramm einen gestörten Zuckerstoffwechsel wieder weitgehend normalisieren.
- Beim Essen brauchen Betroffene nicht mehr auf Nährstoffmengen zu achten, sondern können gesunde Ernährungsmuster wählen, die ihren Bedürfnissen entsprechen.
- Spezielle Diätprodukte für Diabetiker sind unnötig. Es zeichnet sich aufgrund der derzeitigen Studienlage ab, eine Empfehlung auszusprechen, die Kohlenhydrataufnahme zugunsten der Eiweißaufnahme zu reduzieren.
- Die Menge von Zuckeraustausch und -ersatzstoffen soll sparsam Einsatz finden, da diese mutmaßlich die Entwicklung einer Leberverfettung mit deren Komplikationen begünstigen.
- Aus verschiedenen Gründen soll die Menge an tierischem Eiweiß (vor allem Fleisch) reduziert werden

**zu 3.:**

■ **THERAPIE DES TYP 1-DM: INSULINZUFUHR** - Diät - körperliche Aktivität - Schulung

■ **PHASENGERECHTE STUFENTHERAPIE DES TYP 2-DM**

Progressive Zu- und Abnahme der Insulinsekretion



1. **GEWICHTSNORMALISIERUNG - DIABETESDIÄT - KÖRPERLICHE AKTIVITÄT - SCHULUNG**

**Merke:** Interventionsstudien haben gezeigt, dass die Manifestation des Typ 2-DM durch Gewichtsnormalisierung und regelmäßige körperliche Aktivität aufgehalten werden kann! Einzelne Studien zeigen sogar eine vollständige Remission von frisch manifesten jungen Typ 2-Diabetikern durch eine sehr strenge Diät (oder bariatrische Eingriffe), wodurch das Dogma der Unheilbarkeit widerlegt wird. Langzeitdaten folgen.

2. Ein orales Antidiabetikum (OAD): Metformin ist (noch) bei übergewichtigen Typ 2-Diabetikern ohne kardiovaskuläre Komplikationen das Mittel der Wahl. Bei Typ 2-Diabetikern mit kardiovaskulären Komplikationen Antidiabetika mit kardioprotektiver Wirkung → SGLT2-Inhibitor und GLP1-Rezeptorantagonist (siehe auch Nationale Versorgungsleitlinie 2021)
3. Metformin + 2. hypoglykämiearmes (kardioprotektives) OAD oder GLP-1-Rezeptoragonist (= GLP-1-RA) + ggf. 3. hypoglykämiearmes (kardioprotektives) OAD / GLP1-RA
4. OAD / Insulin-Kombinationstherapie
  - Basalinsulin + OAD oder GLP-1-RA → bei (relativer) Erschöpfung der Insulinproduktion
  - Basalinsulin + Bolusinsulin + OAD: Bei weiterer Erschöpfung der endogenen Insulinproduktion

**Medikamente = Orale Antidiabetika (OAD) → Einteilungsmöglichkeiten:**

<b>Insulinotrop = β-zytotrop</b>	<b>Nicht-insulinotrop = nicht-β-zytotrop</b>
Sulfonylharnstoffe, Glinide (BZ-unabhängig) DPP-4-Inhibitoren, GLP-1-RA (BZ-abhängig)	Biguanide (Metformin), α-Glukosidase-Hemmer, SGLT2-Hemmer
Wirkung an der β-Zelle Behandlung des Sekretionsdefizits Wirkung auch in späteren Erkrankungsstadien Hypoglykämiegefahr (SH, Glinide) Gefahr der Gewichtszunahme (SH, Glinide)	Periphere Wirkung Behandlung der Insulinresistenz Wirkung vor allem in früheren Erkrankungsstadien Keine Hypoglykämiegefahr Für adipöse Patienten geeignet
<b>Antidiabetika mit hohem Hypoglykämierisiko</b>	<b>Antidiabetika mit niedrigem Hypoglykämierisiko</b>
Sulfonylharnstoffe, Glinide, Insulin	Biguanide (Metformin), α-Glukosidase-Hemmer, DPP-4-Inhibitoren, GLP-1-RA SGLT2-Inhibitoren

## **A. Nicht-insulinotrope Substanzen - verursachen keine Hypoglykämie:**

### **1. Biguanide: Metformin**

Wi.: - Verzögerte Glukoseresorption aus dem Darm  
- Hemmung der hepatischen Glukoneogenese  
- Verstärkte Glukoseaufnahme in die Muskulatur } extrapankreatische Effekte  
- Diskreter appetitsenkender Effekt (→ evtl. Gewichtsabnahme)

Unter Zusammenschau dieser Wirkungen gilt Metformin leitliniengerecht (unter Voraussetzung fehlender Kontraindikationen) noch als First line-drug in der Therapie des adipösen Typ 2-Diabetikers ohne kardiovaskuläre Komplikationen.

**Merke:** In der UKPD-Studie schneidet Metformin in allen Belangen (Mikro- und Makroangiopathie, Todesfälle) günstiger ab als andere Therapieformen und war lange unter Beachtung der KI Mittel der 1. Wahl bei übergewichtigen Typ 2-Diabetikern. Moderne Bestätigungsstudien und Metaanalysen wecken daran jedoch begründete Zweifel.

NW: Oft gastrointestinale Beschwerden (viel seltener unter retardierter Darreichung); sehr selten: Laktatazidotisches Koma (mit hoher Letalität) nur bei Missachtung der Kontraindikationen, Vitamin B<sub>12</sub>-Mangel (ca. 25 - 30 % der Patienten), u.a.

KI: Schwere Niereninsuffizienz mit einer errechneten Kreatinin-Clearance [eGFR] < 30 ml/Min; bei GFR 30 - 59 ml/Min Risiko für Laktazidose überprüfen: Dekompensierte Herzinsuffizienz, respiratorische Insuffizienz, schwere Leberfunktionsstörungen, Zustände, die zu einer Gewebshypoxie prädisponieren, konsumierende Erkrankungen, Reduktionskost, Fasten oder gastrointestinale Infekte, akute schwere Erkrankungen, vor und nach Operationen; 48 h vor und nach Untersuchung mit ionischen Röntgenkontrastmitteln (Laktatazidose-Gefahr!), Alkoholismus u.a.

Dos: 1 - 2 x 500 - 1.000 mg/d nach den Mahlzeiten; mit kleinster Dosis (250 - 500 mg) beginnen und langsam steigern, dabei ist die Abendgabe die wichtigere. Eine Dosissteigerung > 2.000 mg/d steigert oft nur die Nebenwirkungen, nicht die Wirkung. Eine geringe Dosis scheint besser als keine Gabe. Bei diabetischer Nephropathie mit einer eGFR von 30 - 44 ml/Min Dosisreduktion von Metformin auf max. 1.000 mg/d, verteilt auf 2 Einzeldosen und GFR-Kontrollen. Instruktion der Patienten über temporäre Unterbrechung der Medikation bei Dehydratation, schwerer Erkrankung oder Röntgenkontrastmittelgabe.

### **2. $\alpha$ -Glukosidasehemmer: Acarbose (sehr begrenzte Bedeutung in Europa/Amerika)**

Wi.: Hemmung der  $\alpha$ -Glukosidase in der Dünndarmmukosa → Verminderung des postprandialen Blutzuckeranstiegs

### **3. Glitazone (eingeschränkte Zulassung/Verordnungsfähigkeit in D) → praktisch bedeutungslos**

### **4. SGLT-2-Inhibitoren (SGLT2i): Dapagliflozin (Forxiga®), Empagliflozin (Jardiance®) u.a.**

Wi.: SGLT2i sind Inhibitoren des Natrium-Glukose-Cotransporters 2 (SGLT-2 = sodium dependent glucose transporter-2), die zu einer verringerten renalen Reabsorption der Glukose führen → pharmazeutisch induzierte Glukosurie und Senkung des Glukosespiegels im Blut. Für Empa- und Dapagliflozin konnte eine Senkung der kardiovaskulären Mortalität belegt werden. Für andere SGLT2i nicht in diesem Ausmaß. Außerdem sehr hoher Stellenwert in der Herzinsuffizienztherapie des Diabetikers und Nicht-Diabetikers (siehe auch Kap. Kardiologie). Einen ebenso hohen Stellenwert haben Dapagliflozin/Empagliflozin in der Progressionshemmung und Behandlung der CKD des Diabetes und Nicht-Diabetikers.

Ind: Typ 2-DM (Mono- oder Kombinationstherapie) - Keine Zulassung für Typ 1-DM!

NW: Genitale Mykosen, Harnwegsinfektionen, evtl. Volumenverminderung; Hypoglykämie nur bei Kombination mit insulinotropen Antidiabetika. Selten Ketoazidose bereits bei BZ-Werten < 250 mg/dl = euglykämische Ketoazidose (v. a. bei Typ 1 = SAID und Insulin-defizientem DM = SIDD). Sehr selten Fournier-Gangrän = nekrotisierende Faszitis. Bei fortgeschrittener PAVK mögliche Verschlechterung der Durchblutung.

KI: Überempfindlichkeit gegen SGLT2i, Typ 1-DM, Volumenmangel, Ketoazidose, Kontrastmittelgabe, Harninkontinenz u.a.

Dos: Empagliflozin 10 mg/d (Tageshöchst-dosis 25 mg/d); Dapagliflozin: 10 mg/d

## **B. Insulinsekretagoga (insulinotrope Substanzen) - können Hypoglykämien verursachen:**

### **1. Sulfonylharnstoffe (SH): (Glibenclamid, Glimepirid, Gliclazid, Gliquidon)**

Spielen in der modernen Diabetestherapie wegen verschiedener Nachteile (Gewichtszunahme, Hypoglykämierisiko) eine immer geringere Rolle.

Wi: Stimulation der Insulinsekretion durch Blockade des ATP-sensitiven Kaliumkanals. Glimepirid ist am nebenwirkungsärmsten und sollten deshalb - wenn überhaupt - eingesetzt werden.

Ind: Typ 2-DM, falls unter Diät und Metformin das Therapieziel nicht erreicht wird

KI: Typ 1-DM, Schwangerschaft (Umstellung auf Insulin), Leber- und fortgeschrittene Niereninsuffizienz, diabetische Stoffwechselentgleisung, unübersichtliche Situationen (z.B. Unfälle, Operationen), diabetische Gangrän

NW: Vor allem Hypoglykämie

Dos: z.B. Glimperid 1 - 4 mg/d (6 mg = überproportionale Zunahme der Nebenwirkungen)

**Beachte:** SH einschleichend dosieren unter engmaschiger BZ-Kontrolle.

Wechselwirkung von Sulfonylharnstoffen (und Insulin) mit anderen Stoffen:

(die zu einer Verstärkung der blutzuckersenkenden Wirkung - Gefahr der Hypoglykämie - oder zu einer Abschwächung - Gefahr einer Stoffwechsellentgleisung - führen können).

<b>Verstärkung (Hypoglykämierisiko)</b>	<b>Abschwächung</b>	<b>Risikofaktoren für das Auftreten schwerer Hypoglykämien unter SH-Therapie</b>
Betarezeptorenblocker (Reduktion der Wahrnehmung) ACE-Hemmer Cumarinderivate Acetylsalicylsäure Nichtsteroidale Antirheumatika Sulfonamide Clarithromycin <u>Alkohol (Cave!)</u>	Glukagon Östrogene, Gestagene <u>Kortikoide</u> Phenothiazinderivate Saluretika Schilddrüsenhormone Sympathikomimetika Diazoxid Nikotinsäurederivate	Alter > 70 Jahre Zerebrovaskuläre oder kardi-ale Erkrankungen Nieren- oder Leberfunktionsstörungen Alkohol Unregelmäßige Nahrungsaufnahme Durchfälle Körperliche Anstrengung

## 2. Sulfonylharnstoffanaloga (Glinide - in Deutschland nur noch Repaglinid®)

Wirksamkeitsbelege zur Risikoreduktion klinischer Endpunkte liegen nicht vor. Dadurch kaum noch im Rahmen der GKV verordnungsfähig → aus diesem Grunde siehe Fachinformation.

Wi.: Glinide sind sog. postprandiale Glukoseregulatoren. Die Wirkung auf den NBZ ist geringer. Sie führen über eine Blockade der ATP-sensitiven Kaliumkanäle zu einer kurzfristigen Insulinsekretion aus den β-Zellen. Einnahme zu den Hauptmahlzeiten. Das Hypoglykämierisiko ist niedriger als bei SH. Voraussetzung: Gute Patientenschulung + Compliance

### Th.: Kombinationstherapie OAD + Insulin:

#### ► Basalinsulin-unterstützte orale Therapie (BOT)

- Fortführung der Therapie mit OAD (SH in Kombination nicht und DPP4-Hemmer nur eingeschränkt sinnvoll)
- Zusätzliche Gabe eines Verzögerungsinsulins: Langzeit-Analog-Insulin (tageszeitunabhängig und pharmakokinetisch stabiler). Man beginnt mit kleiner Dosis (6 IE) und steigert bei Bedarf langsam und in kleinen Schritten. Der NBZ sollte im Normbereich (90 - 110 mg/dl) liegen, da nur so eine optimale nächtliche Schonung der Beta-Zellen erreicht wird. Er dient vorrangig zur Titrationskontrolle (Selbsttitration möglich!)

#### Vorteile:

- Man benötigt nur 1/3 der Insulindosis, die bei Monotherapie mit Insulin erforderlich wäre.
- Man erreicht eine relativ gute Einstellung mit einer einzigen Insulingabe.
- Niedrigste Hypoglykämierate aller Insulinschemata bei Verwendung eines Analoginsulins, aber dennoch deutlich höhere als die aller OAD außer Sulfonylharnstoffe
- Patienten „trainieren“ die Insulinapplikation frühzeitig.
- Zusätzliche prandiale Insulintherapie nach Bedarf möglich („BOT-Plus“)

#### ► Prandiale oder supplementäre Insulintherapie (SIT):

Voraussetzung: Insulinproduktion reicht noch für die Basalversorgung aus bzw. die hepatische Resistenz ist noch endogen beherrscht; nur der höhere Insulinbedarf zu den Mahlzeiten wird durch „feste“ Insulindosen ergänzt.

Beibehalten oraler Antidiabetika + zusätzliche Gabe einer kleinen Dosis schnell wirksamen Insulins präprandial. Startdosis: NBZ (mg/dl) x 0,2 = Tagesinsulindosis. Aufteilung dieser Dosis im Verhältnis 3 : 1 : 2 (Frühstück : Mittagessen : Abendessen), dann individuelle Anpassung

Vorteil: Bessere Kontrolle der postprandialen Blutzuckerwerte

Nachteil: Höchste Hypoglykämierate aller Insulinschemata (siehe APOLLO- oder 4T-Studie)

## 3. Inkretin-basierte Therapie (keine Hypoglykämie):

GLP-1 = glucagon-like peptide 1, wird mahlzeitenabhängig von den neuroendokrinen L-Zellen des Dünndarms aus Proglukagon gebildet und innerhalb weniger Min. vom Enzym Dipeptidyl-Peptidase-4 (DPP-4) inaktiviert. Zählt zusammen mit dem gastric inhibitory polypeptide (GIP) zu den Inkretinen = vom Darm freigesetzte hormonale Stimulationsfaktoren und steigert die Ausschüttung und die Wirkung von Insulin + Hemmung von Glukagon

Wi.: Glukoseabhängige Stimulation der Insulinsekretion, Hemmung der Glukagonfreisetzung, Hemmung des Appetits → Gewichtsabnahme, Verzögerung der Magenentleerung (Cave bei geplanter ITN oder Gastroskopie → längere Nüchternphase kalkulieren)

► **DPP-4-Inhibitoren (Gliptine):** Sitagliptin, Saxagliptin, Vildagliptin

Wi: Hemmung der DPP-4, die für den Abbau des Glukagon-like-Peptid 1 verantwortlich ist. Dadurch steigt der Spiegel von endogenem GLP-1 - abhängig davon, wieviel noch produziert wird. Da die Inkretinwirkung glukoseabhängig ist, können Hypoglykämien nur bei Kombination mit insulinotropen AD auftreten.

Nachteil: Keine kardiovaskuläre Protektion, die über den Effekt der Blutzuckersenkung hinausgeht (anders als bei GLP1-RA und SGLTi).

NW: Infekte, gastrointestinale Störungen, Hyperlipasämien, selten Pankreatitis, Allergie u.a.

Ind: Typ 2-DM, in Ergänzung zu anderen OAD oder Insulin, falls diese allein unzureichend wirken oder bei Metforminunverträglichkeit.

KI: Schwere Niereninsuffizienz, Leberinsuffizienz

Dos: Sitagliptin: 1 x 100 mg/d; Saxagliptin 1 x 5 mg/d; Vildagliptin 1 x 50 mg/d

► **Inkretinmimetika:**

**GLP1-Rezeptoragonisten:** z. B. Dulaglutid (Trulicity®), Liraglutid (Victoza®), Semaglutid (Ozempic®) und **Kombinationstherapie (GLP1 + GIP)** Tirzepatide (Mounjaro®)

Wi.: GLP-1-RA binden mit hoher Affinität an den GLP-1-Rezeptoren und werden durch DPP-4 nicht inaktiviert. Sie bewirken eine glukoseabhängige Steigerung der Insulinsekretion, Hemmung der Glukagonsekretion, Minderung des Appetits und Verzögerung der Magenentleerung → oft Gewichtsverlust. Da die Insulinsekretion nur bei erhöhtem Glukosespiegel gesteigert wird, können Hypoglykämien nur bei Kombination mit weiteren Antidiabetika auftreten. Reduktion des kardiovaskulären Mortalitätsrisikos und Reduktion der Albuminurie → Nephroprotektion bei lang und ultralang wirksamen GLP-1-RA. In Kombination mit GIP (duale Agonisten) ist die Verträglichkeit verbessert, die Wirkung auf den Ab- und Umbau von viszeralem Fett, sowie die Gewichtsreduktion gesteigert. Weitere humorale Kombinationstherapien sind in naher Zukunft zu erwarten.

Ind: Typ 2-DM in Kombination mit Metformin und/oder Insulin, wenn diese allein unzureichend wirken oder bei deren Unverträglichkeit. Gemäß ESC-Leitlinien First-line-Therapie bei hohem kardiovaskulären Risiko (für Mounjaro erwartet, aber nicht bewiesen).

NW: Häufig Übelkeit, Erbrechen, Durchfall (meist reversibel); häufig Hyperlipasämie, sehr selten Pankreatitis

KI: Überempfindlichkeit, schwere Niereninsuffizienz

Dos: Kurzwirksame GLP-1-RA: verlieren zunehmend Bedeutung → siehe Fachinfo

Langwirksame GLP-1-RA: Victoza® 1 x/d s.c.: Einschleichend 0,6 → 1,2 (→ ggf. 1,8) mg/d s.c.

Ultralang-wirksame GLP-1-RA: Trulicity® 1 x/Wo. 0,75 - 1,5 - 3,0 - 4,5 mg s.c., Ozempic® 1 x/Wo. s.c.: Einschleichend 0,25 mg (4 Wo.) → 0,5 mg (mind. 12 Wochen) ggf. danach 1,0 mg/Wo.

Orales Semaglutid: Rybelsus® → zwar ordnungsfähig, aber aktuell in D unbedeutend

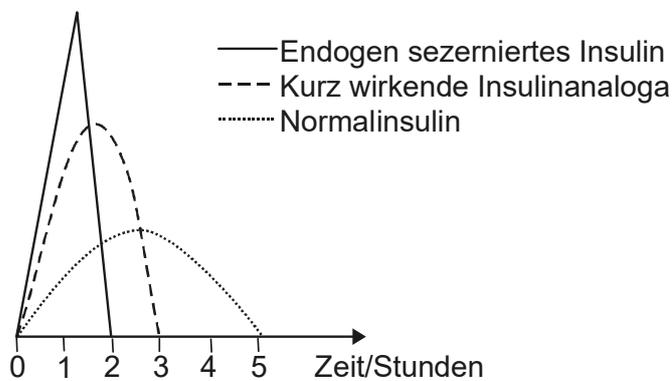
Duale Inkretine (Kombination GLP-1-RA + GIP): Tirzepatide (Mounjaro®). Bessere Wirkung auf HBA<sub>1c</sub> und Körpergewicht im Vergleich mit anderen Inkretinen. Aktuell wartet man noch auf die Studien zur kardiovaskulären Wirkung der FDA. Es wird mit einer ausgeprägten kardioprotektiven Wirkung gerechnet, die aber derzeit noch nicht in Langzeitstudien bewiesen ist.

## INSULIN

Insulin wird in den  $\beta$ -Zellen der Langerhans-Inseln aus den Vorstufen Präproinsulin und Proinsulin gebildet; dabei wird aus der Mitte der Molekülkette des Proinsulins das C-Peptid (connecting peptide) abgespalten. Da Insulin und C-Peptid äquimolar und zeitgleich ins Blut sezerniert werden, erlaubt die C-Peptidmessung eine unscharfe Aussage über die Funktion der  $\beta$ -Zellen des Pankreas. Gegenüber der Insulinbestimmung im Serum hat die C-Peptidbestimmung im Serum den Vorteil, dass keine Kreuzreaktion mit Insulinantikörpern möglich ist und die Messung von exogener Insulingabe unbeeinflusst bleibt. Darüber hinaus ist die Bestimmung des C-Peptids aufgrund seiner längeren biologischen Halbwertszeit (ca. 25 Min.) weniger von kurzfristigen Schwankungen der Insulinsynthese beeinflussbar.

Bei Patienten mit allen Formen des Insulinmangeldiabetes ist das C-Peptid erniedrigt.

Die Abgabe des in den Granula der  $\beta$ -Zellen gespeicherten Insulins ist (bei Gesunden) proportional dem Blutzuckerspiegel. Infolge rascher Inaktivierung des zirkulierenden Insulins durch Insulinasen ist die Plasmahalbwertszeit kurz (5 Min.). Ein Übergewicht an kontra-insulinären Hormonen (STH [somatotropes Hormon], ACTH, Kortikosteroide, Glukagon, Adrenalin, Thyroxin) kann zu einer diabetischen Stoffwechsellaage führen (WHO-Klassifikation IID).



### Wirkungsmechanismen des Insulins:

1. Membraneffekt: Förderung des Transports von Glukose, Aminosäuren und Kalium in die Muskel- und Fettzellen.
2. Metabolische Effekte: Förderung der anabolen Stoffwechselprozesse (Glykogensynthese, Lipidsynthese, Proteinsynthese) und Drosselung der katabolen Prozesse (Glykogenolyse, Lipolyse, Proteolyse).

Bei Menschen mit Diabetes ist die aktive Aufnahme von Glukose in die Zellen erschwert und die Glukoneogenese wird unzureichend inhibiert (Insulinresistenz u./o. Insulinmangel). Erst bei erhöhtem Blutzuckerspiegel kann passiv genügend Glukose in die Zelle eintreten. Der Glukosemangel in den Zellen des Fettdepots führt zur verminderten Produktion von Glycerinphosphat, wodurch die Fettsäuren nicht zu Triglyzeriden synthetisiert werden und so das Fettgewebe verlassen. In der Leber werden sie über Acetyl-CoA zu Ketonkörpern abgebaut (Acetessigsäure,  $\beta$ -Hydroxybuttersäure, Aceton). Die Ketonkörper, die von den Muskelzellen als Energiequelle mitbenutzt werden, vermindern die Permeabilität der Zellen für Glukose, sodass die Situation noch weiter verschlimmert wird (insulinantagonistischer Effekt der Ketonkörper).

**40er-Regel:**

- Der Tagesbedarf an Insulin eines „Standardmenschen“ beträgt **40 IE Insulin** (bei Adipösen z.T. deutlich mehr): ca. 20 IE Insulin für die Nahrungsaufnahme und ca. 20 IE Insulin für den basalen Stoffwechsel.
- 1 IE Insulin senkt den Blutzucker um 30 - 50 mg/dl (Voraussetzung keine Resistenz).
- 1 KE (Kohlenhydrateinheit) = 10 g Kohlenhydrate erhöhen den Blutzucker um 30 - 50 mg/dl (Voraussetzung keine Resistenz).
- Fazit: 1 IE Insulin neutralisiert im Durchschnitt 1 KE.

Die Insulinsekretion lässt sich in zwei Komponenten einteilen:

1. Eine basale, pulsatile Insulinsekretion sowie
2. mahlzeitenabhängige, pulsatile Insulinausschüttungen.

Die basale Insulinsekretion mit geringen Insulinkonzentrationen im Blut (5 - 25  $\mu$ U/ml) unterdrückt die Glukosefreisetzung aus der Leber. Deshalb treten bei Insulinmangel auch in der Nüchternphase erhöhte BZ-Werte auf. Demgegenüber sind die mahlzeitenbedingten Insulinausschüttungen für die Verwertung und Speicherung der Glukose aus der Nahrung erforderlich.

### Indikationen für eine Insulintherapie:

1. Typ 1-DM = SAID (insulinabhängiger DM)
2. Typ 2-DM: Rechtzeitige Insulingabe, wenn Lebensstiländerung + orale Antidiabetika/GLP1RA nicht zu einer guten Einstellung führen (v.a. SIDD).
3. Gravidität, wenn Diät und Bewegung allein nicht zu Normoglykämie führen.
4. Diabetische Komplikationen (Mikroangiopathien, [Prä-]Coma diabeticum)
5. Evtl. schwere Erkrankung, perioperative oder intensivmedizinische Zustände bei Diabetikern

### Insulinpräparate:

Zum Einsatz kommen Humaninsuline und Insulinanaloga.

Insulin steht in Deutschland in mehreren verschiedenen Konzentrationen zur Verfügung. Als **U40** (40 IE/ml = in BRD nur Sanofi-Aventis) für die konventionelle Injektion mit der Insulinspritze und als **U100 = Standardkonzentration** (100 IE/ml) in Patronen für Insulinpumpen und Injektionshilfen (Pen). Als **U200** (Insulin-Lispro und Insulin degludec) und als **U300** (Insulin-Glargin) im Einmalpen

**Cave:** Für die Injektion müssen zwingend die passend kalibrierten Spritzen / Pens verwendet werden, die nicht umgefüllt werden dürfen!

### 1. Kurz wirkende Insuline:

- a) Normalinsulin (früherer Name: Altinsulin): Wirkeintritt nach 30 - 60 Min.; Wirkdauer ca. 5 - 6 h und ggf. länger, z.B. Actrapid®, Huminsulin® Normal → Produktion wird von der forschenden Industrie zunehmend eingestellt.

Ind: - Bei Stoffwechselentgleisungen und bei Ersteinstellung

- Zur intermittierenden Therapie (z.B. perioperativ)

- Zur intensivierten konventionellen Therapie (ICT) und zur Insulinpumpentherapie

Applikation: Intra-/Subkutan, in der Regel ins Bauchfett, bei der Komatherapie intravenös. Bei s.c.-Gabe Spritz-Essabstand ca. 30 Min. und bei Schwangerschaft 30 - 60 Min. (unpraktikabel)

- b) Kurz- und ultrakurzwirkende Insulinanaloga: Variation der Aminosäuresequenz verhindert subkutane Hexamerenbildung, dadurch raschere Resorption. Wirkeintritt nach frühestens 10 Min., Wirkdauer ca. 3,0-5 h, z.B. Insulin-Aspart (NovoRapid®, Fiasp®), Insulin-Glulisin (Apidra®), Insulin-Lispro (Humalog®); URLi = ultra rapid lispro  
Lyumjev® (Kombination von Insulin-Lispro + Citrat + Treprostinil): Erhöht die Gefäßpermeabilität + lokale Perfusion mit schnellerer Resorption + Wirkung. Kann sinnvoll sein (v. a. in Pumpe).  
Vorteil: Kein/kürzerer Spritz-Ess-Abstand, weniger postprandiale Hypoglykämien; auf Zwischenmahlzeiten kann häufig verzichtet werden. Ggf. postprandiale Injektion.  
Nachteil: Die Wirkung kann bei langsam resorbierbaren Kohlenhydraten zu kurz sein; basale Insulinversorgung muss exakt dosiert werden.

## 2. Verzögerungsinsuline:

Durch Kombination von Insulin mit Protamin oder Zink oder durch die Veränderung der Insulinstruktur/-konzentration erhält man Insulinpräparate mit längerer Wirkdauer (NPH-Insuline).

Applikation: NPH-Insulin sub-/intrakutan in den Oberschenkel; analoge Verzögerungsinsuline sub-/intrakutan in Bauch oder Oberschenkel; Verzögerungsinsuline dürfen nicht intravenös gegeben werden!

- a) Trübe intermediär wirkende NPH-Insuline (Neutrale-Protamin-Hagedorn-Insuline) → Produktion wird von der forschenden Industrie zunehmend eingestellt, die durch mind. 20-maliges Schwenken (nicht Schütteln) in Suspension gebracht werden müssen (→ wird oft = 90 % vernachlässigt, deshalb kann es zu unkalkulierbaren Über- oder Unterdosierungen kommen = unpraktikabel).

Prinzip: Insulin-Protamin-Kristalle; Wirkeintritt nach ca. 60 Min., Wirkdauer 9 - 18 h

Beispiele für humane Verzögerungsinsuline: Huminsulin® Basal, Protaphane®

Ind: Kombinationstherapie Insulin + orale Antidiabetika (SH, Metformin); konventionelle (CT) und intensiviertere konventionelle Insulintherapie (ICT)

- b) Klare lang wirkende Insulinanaloga durch Änderung der Insulinstruktur (Schwenken nicht notwendig) sowie deutliche Verlängerung der Wirkdauer auf ca. 20 - 42 h + gleichmäßigere Kinetik  
 Spritzort: Bauch oder Oberschenkel: Insulin Glargin (Lantus®, Biosimilar Abasaglar®, Toujeo®), Insulin Detemir (Levemir®), Insulin degludec (Tresiba®).

- c) Ultralang wirksames Insulinanalogon Insulin Icodec U700 (Awiqli®) = wöchentliche Gabe: Ultralange Verzögerung (HWZ ca. 196 Std. = 8 Tage) durch erhöhte Hexamer-Stabilität und erhöhte Albumin-Bindung.

Vorteil: Gleichmäßige Kinetik, hohe Patientenakzeptanz und -zufriedenheit

Nachteil: Erhöhte Hypoglykämiegefahr bei Typ 1-DM, eingeschränkte Therapieflexibilität

## 3. Insulinmischungen aus Normalinsulin (oder kurz wirkenden Insulinanaloga) + NPH-Insulin:

NPH-Insuline lassen sich mit Normalinsulin frei mischen. Für praktisch alle Bedürfnisse stehen entsprechende Handelspräparate zur Verfügung. Heutzutage meist nicht Therapie der 1. Wahl, wenn ein normnaher HbA<sub>1c</sub> erreicht werden soll → verlieren konstant an Bedeutung.

Ind: Konventionelle Insulintherapie mit täglich 2 (-3) Injektionen, Dosisverteilung: 2/3 morgens, 1/3 abends

Spritz-Essabstand bei Normalinsulin ca. 30 Min. (Insulinanaloga ohne Spritz-Ess-Abstand); Applikation s.c. in Bauch (morgens) oder Oberschenkel (abends)

### Merke:

1. Intermediär- und Langzeitinsuline werden auch Verzögerungsinsulin genannt. Sie dürfen nicht i.v. gegeben werden!
2. Alle NPH-Insuline müssen mind. 20-mal geschwenkt werden, um eine gleichmäßige Durchmischung zu erhalten. Nur ca. 10 % der Patienten schwenken jedoch ausreichend mit der Folge einer stark schwankenden Insulindosis (ca. 10 - 200 %) und Einstellungsschwierigkeiten / Hypoglykämiegefahr ↑.
3. Insulinanaloga sind klare Kunstinsuline, die keiner Durchmischung bedürfen. Klinisch relevante Vor-/Nachteile gegenüber den NPH-Humaninsulinen sind in klinischen RCTs nicht belegt, aber in Real-World-Studien. Allerdings ist die Hypoglykämieschwere und -frequenz von analogen Basalinsulinen im Vergleich mit NPH-Insulinen in zahlreichen Studien bei Typ 1- und Typ 2-Diabetes deutlich reduziert.

## NW/KI einer Insulintherapie:

### 1. Hypoglykämie

Urs: Überdosierung (selten in suizidaler Absicht), fehlende oder zu geringe Kohlenhydratzufuhr, vermehrte körperliche Aktivität, Gewichtsreduktion, Interaktion mit Pharmaka (z.B. Betablocker) und Alkohol (lebensbedrohliche Hypoglykämien in Ausnüchterungszellen!); Niereninsuffizienz (Dosisanpassung!)

### 2. Lipodystrophie/-hypertrophie des Fettgewebes an den Injektionsstellen

Pro: Systematischer Wechsel der Injektionsstellen und der Nadeln nach jeder Injektion (ganzer Bauchbereich und Oberschenkel seitlich, ausnahmsweise am Gesäß - nicht am Oberarm [außer Awiqli®])

### 3. Insulinresistenz:

Mehrbedarf an Insulin infolge Störung der Interaktion zwischen Insulin und seinem Rezeptor an der Zelloberfläche u./o. der Glukoseverwertung in der Zelle → Urs.:

- Übergewicht (am häufigsten) → ca. 25 % der T1-Diabetiker haben einen BMI > 30 kg/m<sup>2</sup>
- Hypertriglyzeridämie oder die Hyperglykämie selbst (unabhängiger Resistenzfaktor)
- Infektionen, Fieber (häufig), Stress / Trauma
- Vermehrung kontrainsulinärer Hormone (siehe oben)
- Ketoazidose (Prä-/Coma diabeticum)
- Ak gegen Insulin (extrem selten)

Anm.: Um eine Pseudoresistenz handelt es sich bei der Überinsulinierung (durch zu hohe Insulindosen: Hypoglykämien und danach reaktive Hyperglykämien): Hier hilft nur stufenweise Reduktion (!) der Insulindosis (siehe unten: Somogyi-Effekt).

#### **A) Konventionelle Insulintherapie (CT)** → immer geringerer Stellenwert

Mit Intermediärinsulin oder Insulinmischungen aus Intermediärinsulin + Normalinsulin: Eine befriedigende Einstellung ist nur durch mind. 2 Injektionen/d zu erreichen. Dabei injiziert man 2/3 bis 3/4 der Tagesdosis vor dem Frühstück, den Rest vor dem Abendessen (Spritzenabstand = SEA 30 Min. bei Normalinsulin - bei Insulinanaloga kein SEA). Eine bessere Einstellung ist manchmal möglich durch 3 Injektionen: Morgens: Mischinsulin - mittags: Normalinsulin - abends: Mischinsulin

Nachteil: Eine starr vorgegebene Dosis eines Verzögerungsinsulins ohne Beimischung von Normalinsulin reicht nicht aus, den Blutzuckeranstieg nach Nahrungsaufnahme abzufangen. Andererseits ist der Insulinspiegel zwischen den Mahlzeiten unphysiologisch hoch, sodass Zwischenmahlzeiten erforderlich sind, um hypoglykämische Reaktionen zu vermeiden: Der Patient muss sich folglich an ein starrs Mahlzeitenregime halten: Isst der Patient zu wenig, ist seine Insulindosis zu hoch und umgekehrt.

**Merke:** Konventionelle Insulintherapie = Der Patient muss essen, weil er Insulin gespritzt hat!

**Beachte:** Morgendliche Hyperglykämie kann 3 Hauptursachen haben:

1. Eine einmalige morgendliche Gabe eines Verzögerungsinsulins hat eine zu kurze Wirkungsdauer, sodass nachts und bes. morgens der Blutzucker ansteigt.

Th.: Eine 2. Insulingabe am Abend (Morgen-/Abendrelation: 2 - 3 zu 1).

2. Somogyi-Effekt: Der Patient bekommt eine zu hohe abendliche Insulindosis: Dadurch kommt es zu nächtlicher Hypoglykämie (nächtliche Blutzuckerbestimmung gegen 3 - 4 h) und zu reaktiver morgendlicher Hyperglykämie.

Patienten, die zu nächtlichen Hypoglykämien neigen, sollten nicht mit einem Blutzucker < 120 mg/dl schlafen gehen. Denn bis 3 Uhr nachts fällt er um 30 - 40 mg/dl und erholt sich erst danach wieder spontan bis zum frühen Morgen. Liegen Patienten um 23 h unter diesem Wert, sollten sie ein oder zwei KE essen. Eine nächtliche Messung um 3 h ist nur erforderlich in der Einstellungsphase oder wenn eine Hypoglykämie erwartet wird, zum Beispiel, wenn die Patienten sehr viel Sport getrieben haben oder nach Alkoholkonsum sowie in der Diagnostik unerklärlicher Nüchtern-Hyperglykämien.

Th.: Verringerung der abendlichen Insulindosis!

3. Dawn-Phänomen: Trotz konstanter Insulinzufuhr kommt es bei einigen Patienten am frühen Morgen (nach 6 h) zu einem Blutzuckeranstieg. Ursache ist ein erhöhter Insulinbedarf in der 2. Nachthälfte, bedingt durch vermehrte nächtliche Wachstumshormon(GH)-Sekretion (bes. Typ 1-DM).

Di./Th.: BZ-Kontrollen in der Nacht (z.B. 22 / 2 / 4 h) und Anpassung der abendlichen Insulindosis (Intermediär- oder Langzeitinsulin) oder Einsatz einer Insulinpumpe → Einstellung einer erhöhten Basalrate in den frühen Morgenstunden.

#### Ergänzungen:

- Neueinstellung eines schlecht eingestellten DM:

Niemals Diät und Insulin gleichzeitig ändern, sonst verliert man die Übersicht. Man belässt den Patienten für mehrere Tage auf seinem alten Schema, macht engmaschige Blutzuckertagesprofile/Glukosesensor und ändert danach die Insulintherapie oder die Diät.

- Bei schwieriger Einstellung mit Gefahr der Hypoglykämie (über die der Patient dokumentiert belehrt werden muss → **Cave:** Autofahren!) sollte Traubenzucker griffbereit sein. Angehörige sollen für den Fall eines hypoglykämischen Schocks mit der Notfallbehandlung vertraut sein (Glukagon nasal / i.m. / s.c.).
- Bei länger dauernder außergewöhnlicher Muskelarbeit (z.B. Sport am Wochenende) sinkt der Insulinbedarf, oft über die Zeit der Muskelarbeit hinaus (Muskelauffülleffekt), sodass an dem entsprechenden (und evtl. auch nachfolgenden) Tag nur eine reduzierte Insulindosis (z.B. 50 %) gespritzt werden sollte.

#### **B) Intensivierte Insulintherapie** → Stellenwert steigt

##### Basis-/Boluskonzept:

Die Aufgliederung des Insulinspiegels beim Gesunden in eine Basalrate und zusätzliche mahlzeitenabhängige (prandiale) Insulinspitzen kann beim insulinbedürftigen Diabetiker auf 2 Arten nachgeahmt werden:

#### a) Intensivierte konventionelle Insulintherapie (ICT):

Der basale Insulinbedarf wird durch eine meist einmalige Gabe eines analogen Langzeitinsulins abgedeckt. Der Insulinbedarf richtet sich nach dem Tagesablauf des Patienten und dem nächtlichen Blutzuckerlauf. (Falls noch NPH-Insulin Verwendung findet in der Regel zwischen 22 - 24 Uhr - sonst erhöhte Gefahr der nächtlichen Hypoglykämie). Bei Analoginsulin morgendliche Gabe möglich. Etwa 40 - 50 % der gesamten Insulintagesdosis entfallen auf die basale Insulinversorgung. Die restlichen 50 - 60 % der Tagesdosis verteilen sich auf die mahlzeitenbezogenen (prandiale) Bolusgaben von kurz wirkenden Insulinanaloga (oder Normalinsulin). Die Höhe der einzelnen Dosen richtet sich nach der Größe der Mahlzeit (= Menge der Kohlenhydrate in KE), dem präprandial gemessenen Blutzuckerwert, der Tageszeit und der geplanten körperlichen Belastung. Ein Spritz-Ess-Abstand ist dabei nicht zwingend erforderlich, ca. 15 Min. sind aber empfehlenswert.

Es besteht eine zirkadiane Insulinempfindlichkeit, daher ist der Insulinbedarf pro Kohlenhydrateinheit (KE) zu verschiedenen Zeiten unterschiedlich (Verhältnis i.d.R. 3 : 1 : 2). Insulinbedarf pro KE: Morgens ca. 2 IE, mittags 1,0 IE, abends 1,5 IE (wenn keine Resistenz vorliegt). Hohe individuelle Variabilität!

Die Anpassung der Dosis des Normalinsulins bei vom Zielblutzucker (90 - 120 mg/dl) abweichenden Werten geht von der Erfahrung aus, dass 1 IE Normalinsulin den Blutzucker um ca. 50 - 60 mg/dl senkt (bei Blutzuckerwerten  $\leq$  300 mg/dl). Bei BZ-Werten  $>$  300 mg/dl senkt 1 IE Normalinsulin den BZ um ca. 30 mg/dl. D.h. je höher der Blutzucker, umso schlechter die Insulinwirkung ( $\rightarrow$  glukotoxischer Effekt).

Bei Patienten mit (noch) ausreichender basaler Insulinsekretion kann ein Versuch mit einer supplementären Insulintherapie gemacht werden (Bolus eines schnell wirkenden Insulins zu den Hauptmahlzeiten ohne Basalinsulin).

#### b) Insulinpumpentherapie:

In der Pumpentherapie wird schnell wirksames Analoginsulin favorisiert. Mittels externer Pumpe erfolgt eine kontinuierliche subkutane heutzutage meist automatisierte Insulininfusion (CSII). Zugrunde liegen der automatisierten Insulinabgabe verschiedene Algorhythmen, deren Aufgabe es ist, den Blutzucker des Patienten durch Einbeziehung kontinuierlicher Sensormessungen und der aktuell wirksamen Insulindosis vorherzuberechnen und auf Grundlage dieser Berechnungen im Sinne eines Mess-Regel-Prinzips die Basalrate kontinuierlich prospektiv anzupassen.

Vorteile: Stabilere Blutzuckereinstellung, weniger Blutzuckerschwankungen, mehr Zeit im Zielbereich und eine erhöhte Lebensqualität durch Entlastung bei der täglichen Diabetesbetreuung.

Der Patient ruft zusätzlich zu den Mahlzeiten - abhängig vom präprandialen Blutzuckermesswert und der gewünschten Nahrungsmenge - Bolusinsulingaben über die Pumpe ab (deshalb hybrid-closed-loop). Solche computergesteuerte Insulinpumpen werden in Industrienationen überwiegend eingesetzt und haben auch in RCTs ihre Überlegenheit gegenüber konventionellen Pumpen bewiesen. Nicht sensorgesteuerte Insulinpumpen werden nur noch ausnahmsweise verordnet.

**Cave:** Unter einer Insulinpumpentherapie ist der Insulinbedarf oft um 30 - 50 % niedriger!

Ko.: 1. Lokale Infektionen

2. Entgleisung ins Koma bei blockiertem Insulinfluss oder Ablegen der Pumpe (DKA)

3. Hypoglykämiegefahr bei ungenügender (Blutzucker-) Selbstkontrolle

Ind.: - Säuglinge und Kleinkinder

- Schwangerschaft (insbesondere bei Typ 1-DM)

- Ausgeprägtes Dawn-Phänomen, schwere rezidivierende Hypoglykämien und Hypoglykämiewahrnehmungsstörung

- (Drohende) Spätkomplikationen des DM und Wunsch nach Progressionshemmung

- Patientenwunsch nach einer flexiblen Therapie, z.B. wegen Wechselschicht, Leistungssport, viele Reisen über verschiedene Zeitzonen, etc.

Voraussetzungen für eine intensivierte Insulintherapie:

- Kooperative Patienten (oder Eltern oder Partner) mit der Fähigkeit, selbstverantwortlich /-wirksam therapeutisch zu entscheiden

- Tägliche Stoffwechselführung, meist heutzutage Glukosesensor

- Selbstbestimmung von Ketonen bei BZ  $>$  250 mg/dl und Ketoazidosemanagement

- Intensive Diabetesschulung inkl. ICT-Schulung bei Pumpenausfall

- Hypoglykämie-management

- Betreuung der Patienten ausschließlich durch diabeteserfahrene Ärzte + Schulungspersonal

Vorteile der Behandlung:

- Optimale Stoffwechselführung mit reduzierten diabetesassoziierten Komplikationen

- Individuelle zeitliche Gestaltung der Nahrungsaufnahme (der Patient spritzt Insulin, wenn er essen möchte) und der körperlichen Belastung (rasche Anpassung der Insulindosis möglich).

- Bei Closed-Loop-Systemen rechtzeitige Alarmierung und Gegenmaßnahmen. Mit Closed-Loop-Systemen sind hypoglykämiearme, stabile Diabeteseinstellungen mit HbA<sub>1c</sub> um 5,5 % möglich. Erstmanifeste Säuglinge und Kinder werden heutzutage meist primär mit solchen Systemen behandelt.

Die Ergebnisse des Diabetes Control und Complication Trial (DCCT) und anderer Studien bei Typ 1-Diabetikern zeigen, dass durch intensivierete Insulintherapie mit Optimierung der Stoffwechseleinstellung die Rate diabetischer Spätschäden (Retinopathie, Nephropathie, Neuropathie) um 50 % vermindert wird und ein Fortschreiten bereits vorhandener Schäden verhindert werden kann. Dabei muss allerdings (ohne moderne Konzepte) ein bei der ICT (ohne Gewebemessung) um den Faktor 3 erhöhtes Risiko an Hypoglykämien in Kauf genommen werden (mit Sensor deutlich reduziert!!).

**Beachte:** Der Effekt aller Diabetestherapien und das Auftreten von Folgeerkrankungen kann bei entsprechender Patientenadhärenz und Schulungsgüte durch validierte, konsequent durchgeführte und zielgerichtete Schulungen + Einsatz moderner Konzepte verbessert werden! Gleichzeitig werden durch Schulungen die Nebenwirkungen aller Therapien und deren Komplikationen reduziert.

### **Behandlungsziele:**

Prophylaxe diabetischer Spät komplikationen durch Anstreben einer nahezu normoglykämischen Stoffwechsellage:

1. • BZ nüchtern und präprandial 80 - 110 mg/dl (4,4 - 6,1 mmol/l)  
BZ postprandial  $\leq$  140 mg/dl ( $\leq$  7,8 mmol/l)  
BZ-Selbstkontrollen durch den geschulten Patienten
  - Urin glukosefrei
  - Azeton negativ
  - Negativer Albumin-Streifentest und Albuminurie  $<$  30 mg/g Kreatinin
2. Vermeidung hypoglykämischer Reaktionen!
3. Normalisierung von Körpergewicht und Blutfetten (Kontrolle mind. 1 x/Jahr) → Zielwerte:  
LDL-Cholesterin  $<$  100 mg/dl ( $<$  2,6 mmol/l); bei DM + KHK = hohes Risiko (oder anderen arteriosklerotischen Komplikationen)  $<$  55 mg/dl (1,4 mmol/l). Bei Patienten mit extrem hohem Risiko wird sogar ein LDL  $<$  40 mg/dl (1,04 mmol/l) im Sinne „je niedriger, desto besser“ empfohlen. Um diese Minimal-Werte zu erreichen, werden Statine kaum ausreichen und deshalb immer öfter Alternativen eingesetzt (werden müssen)! (Siehe auch Kapitel Blutfettstoffwechselstörungen)  
[HDL-Cholesterin  $>$  45 mg/dl ( $>$  1,1 mmol/l) → kaum medikamentös beeinflussbar]  
Triglyzeride  $<$  150 mg/dl ( $<$  1,7 mmol/l)
4. Normalisierung des HbA<sub>1c</sub> (Kontrolle alle 3 Monate)

#### Behandlungsziel:

- Typ 1-Diabetiker: Normnahe BZ-Einstellung mit Normalisierung des HbA<sub>1c</sub>  $\leq$  6,5 % zur Prophylaxe diabetischer Spät komplikationen, wenn dieses Ziel hypoglykämiearm erreicht werden kann. Ggf. Verbesserung der Stoffwechselkontrolle durch CGMS und CSII möglich.
- Typ 2-Diabetiker: Zielbereich des HbA<sub>1c</sub>  $<$  7 und ggf.  $<$  6,5 %, wenn ohne Hypoglykämie (Anmerkungen: Siehe Kap. Hypoglykämie). In späteren Stadien individuelle HbA<sub>1c</sub>-Zielvereinbarung. HbA<sub>1c</sub>-Werte  $<$  6,5 % zeigen keinen Benefit, jedoch erhöhte Hypoglykämiegefährdung sowie Steigerung des Risikos für kardiovaskuläre Komplikationen. Zudem Erhöhung der Demenzgefährdung.

#### Interpretation von Blutglukose und HbA<sub>1c</sub> → immer beides = HbA<sub>1c</sub> + BZ-Dokumentation anschauen

- Normale Blutglukose, hohes HbA<sub>1c</sub>:
    - Vortäuschung einer guten Stoffwechsellage durch Therapiedisziplin nur vor der ambulanten Kontrolle
    - Bei instabiler Stoffwechsellage deuten hohe HbA<sub>1c</sub>-Werte trotz normaler Blutglukose auf Stoffwechseldekompensation in den vergangenen Wochen hin.
  - Erhöhte Blutglukose, befriedigende HbA<sub>1c</sub>-Werte: Nur vorübergehender Blutglukoseanstieg (z.B. stressbedingt hohe Glukose beim Arztbesuch) bei sonst befriedigender Einstellung
  - Normale Blutglukose und HbA<sub>1c</sub>-Werte: Gute Stoffwechsellage in den letzten 4 - 8 Wochen
  - Erhöhte Blutglukose und HbA<sub>1c</sub>-Werte: Schlechte Stoffwechsellage in den letzten 4 - 8 Wochen
5. Ausschalten evtl. weiterer Risikofaktoren einer vorzeitigen Arteriosklerose:
    - Rauchverzicht (→ mit keiner anderen Maßnahme wird die Prognose derart günstig beeinflusst!)
    - Blutdrucknormalisierung bei Hypertonie: Zielblutdruck bei diabetischer chronischer Nierenerkrankung:
      - Patienten ohne Albuminurie:  $\leq$  130/80 mmHg
      - Patienten mit Albuminurie: 120 - 130/70 - 80 mmHg (RR  $<$  120 mm/Hg kein zusätzlicher Nutzen)

**Merke:** Die Albuminurie ist der wichtigste Prädiktor für das kardiovaskuläre Risiko und die Progression der chronischen Nierenerkrankung.

Pro 10 mmHg-Senkung des systolischen RR vermindern sich diabetische Komplikationen um 12 % (UKPD-Studie). Diuretika und Betablocker können die diabetische Stoffwechsellage verschlechtern; daher sollte eine Kombination von beiden vermieden werden (sofern möglich). Andererseits sollten möglichst Antidiabetika mit positiven Effekt auf die Albuminurie gegeben werden (SGLT2i oder langwirksame GLP1-RA).

6. Regelmäßige Untersuchungen zur Erfassung evtl. Spätkomplikationen (protokollieren im Gesundheitspass):

- Kontrolle auf (Mikro-)Albuminurie, ACR (Albumin-Creatinin-Ratio), Kreatinin i.S. und Kreatinin-clearance (siehe Kap. Niere)
- Klinische Untersuchung der nackten Füße durch den Arzt (alle 3 Monate)
- Pulsstatus, neurologischer Status (mind. 1 x/Jahr)
- Augenärztliche Untersuchungen mit Ophthalmoskopie in Mydriasis (mind. alle 2 Jahre)
- Zahnärztliche Kontrollen und Therapie einer Parodontitis

7. Frühzeitige Prävention und Therapie von Komplikationen:

**Basis: Optimale Blutzuckereinstellung und Behandlung/Beseitigung anderer Gefäßrisikofaktoren**

► Diabetisches Fußsyndrom (DFS)

Voraussetzung: Interdisziplinäre Zusammenarbeit in spezialisierten Diabetes-Fuß-Zentren: Differenzierung zwischen neuropathischem Fuß (neurologische Diagnostik) und/oder PAVK (angiologische Diagnostik)

Therapiepunkte:

Selbstinspektion der Füße und Fußpflege (Patientenschulung!) - innere und äußere Druckentlastung - Diabetes-Entlastungsschuhe - Vermeidung von Traumen und Infektionen - Wundsäuberung/Débridement nekrotischer Beläge + Infektbehandlung - Revaskularisationstherapie bei AVK. (Die Anlage von Bypassen auf Unterschenkel- und Fußarterien sowie multiprofessionelle/interventionelle Maßnahmen bei Patienten mit DFS verhindern in der Mehrzahl der Fälle die Amputation des gefährdeten Beines).

Häufigkeit von Bakterien in chronischen Wunden beim DFS: Staphylococcus aureus (bis 50 %) allein oder kombiniert mit Enterobacteriaceae (20 - 40 %), Streptokokken (10 - 20 %) u.a. Nach Abnahme von Material (am besten aus der Tiefe) für Kultur kalkulierte Initialtherapie und evtl. Korrektur im Sinne einer gezielten Antibiose nach Antibiogramm.

**Merke:** Ungeeignetes Schuhwerk und/oder Fehlstellungen mit Plantarisierung anatomisch ungeeigneter Strukturen sind die häufigsten Ursachen für Druckstellen/Ulzerationen/Nekrosen. Keine Amputation vor angiologischem + diabetologischem Konsil = Mehraugenkontrolle + Vorstellung in DFS-spezialisiertem Zentrum! Eine externe Zweitmeinung vor Amputation steht Patienten gesetzlich zu → telefonische Beratung 24/7 unter 01803-123406! Durch Revaskularisationstherapie in spezialisierten gefäßchirurgischen Zentren lässt sich die hohe Zahl von Amputationen, insbesondere Major Amputationen (= Amputation oberhalb des Sprunggelenkes), vermindern!

Prq: Ohne gute Prävention und Therapie hohes Amputationsrisiko (bis ca. 50 - 200 x so hoch wie bei Nichtdiabetikern). 23.000 Amputationen/J. werden in Deutschland an Diabetikern durchgeführt = 70 % aller Amputationen. Nach Amputation versterben 50 % der Patienten innerhalb von 3 Jahren (an den Folgeschäden des DM).

- Diabetische Retinopathie (dRP) → kein Spätsymptom. In der UKPDS wurden 30 % in der Screeningphase wegen schon bestehender dRP ausgeschlossen. Augenärztliche Untersuchung in Mydriasis! Gemäß GBA-Beschluss von 2017 mindestens alle 2 Jahre.

Nicht proliferative Retinopathie		Proliferative Retinopathie	
Mikroaneurysmen	IRMA	Gefäßproliferationen in Papille oder papillenfern	Präretinale Blutungen
Intraretinale Blutungen	Perlschnurvenen		Netzhautablösung
↑	↑	↑	↑
P a n r e t i n a l e L a s e r k o a g u l a t i o n			oder Glaskörperchirurgie (Vitrektomie)

**Merke:** Eine intensivierte Insulintherapie bei Typ 1-Diabetikern kann das Risiko einer dRP um ca. 75 % senken (DCCT-Studie). Der HbA<sub>1c</sub> sollte nicht zu schnell gesenkt werden (ca. 1 % pro Quartal), da sonst Gefahr der Glaskörperblutung bei bestehender proliferativer dRP.

- Diabetisches Makulaödem (kann in jedem Stadium der diabetischen Retinopathie auftreten): Fokale Laserkoagulation bei fokalem Makulaödem, bei diffusem Makulaödem intravitreale Injektion verschiedener Substanzen (VEGF-Antagonisten)  
Eine Laserkoagulation bei diffusem Makulaödem nur in Ausnahmefällen
- Diabetische Polyneuropathie (dPNP):
- Als einziger kausaler Faktor der Prävention und Therapie gilt eine normnahe BZ-Einstellung! Anzustreben ist ein HbA<sub>1c</sub> < 6,5 - 7 %. Zu schnelle HbA<sub>1c</sub>-Senkung kann PNP auslösen/verstärken!
  - Pharmakologisch werden bei chronisch oder akut schmerzhafter PNP zur Symptomlinderung unterschiedliche Substanzen empfohlen: Antidepressiva (z. B. Amitriptylin oder Duloxetin), Antikonvulsiva (z.B. Carbamazepin, Pregabalin) und Analgetika aller Stufen der WHO. - Evtl. Spinal-Cord-Stimulation (SCS) bei therapieresistenten Schmerzen
- Autonome diabetische Neuropathie (ADN) mit Gastroparese - Therapieoptionen:
1. Diätanpassung (flüssige/semifeste Kost, kleine Mahlzeiten und prokinetisch wirksame Substanzen (z.B. Metoclopramid / Domperidon - NW beachten!))

## 2. G-POEM oder Prucaloprid (Off-Label)

Auf postprandiale Hypoglykämien bei der Insulintherapie achten → evtl. Spritz-Ess-Abstand anpassen und ggf. erst nach der Nahrungsaufnahme spritzen! - Bei schwerster therapierefraktärer Gastroparese jejunale Ernährungssonde oder Magenschrittmacher. Ggf. Versorgung mit CGMS + CSII.

### ► Diabetische Nephropathie (DN): Mindestens jährliches Screening auf Mikro- bzw. Makroalbuminurie und Bestimmung der eGFR und Urin-Albumin-Creatinin-Ratio (UACR)!

- Gute Diabeteseinstellung (siehe oben), optimiert mit SGLT2i und GLP1-RA
- Blutdruck langfristig auf normale Werte einstellen! → Ziel: RR systolisch 120 - 130 mmHg (130 - 140 mmHg bei über 65-jährigen) und diastolisch 70 bis 80 mmHg, falls klinisch toleriert. Bevorzugt mit RAAS-Hemmern
- Meidung nephrotoxischer Substanzen (NSAR, Mischanalgetika, Rauchen u.a.)
- Kochsalzarme Ernährung (NaCl auf 6 g/d begrenzen).
- Optimale Behandlung einer Niereninsuffizienz (→ siehe dort). Metformin kann bis zu einer eGFR von 30 ml/Min/1,73m<sup>2</sup> unter Beachtung von NW + KI (siehe oben) eingesetzt werden. Instruktion des Patienten über eine temporäre Unterbrechung der Metformin-Therapie bei drohender Dehydration sowie vor Kontrastmittelanwendung. Erhöhtes Risiko einer AKI (acute kidney injury) bei gleichzeitiger Therapie mit NSAR sowie RAAS-Inhibitoren.
- Finerenon ist ein nichtsteroidaler Aldosteron-Antagonist, der auch die Progression der CKD und das kardiovaskuläre Risiko reduziert (keine Zulassung bei DM-Typ 1).  
Im St. 5 der DN Einsatz von Dialyseverfahren und Prüfung der Indikation zur Nierentransplantation.  
Anm.: Eine simultane Niere-/Pankreastransplantation wird nur bei Typ 1-DM durchgeführt (nicht bei Typ 2-DM).

### ► Erektile Dysfunktion:

- Urologische Anamnese + Diagnostik (Ausschluss eines Testosteronmangels und einer Hyperprolaktinämie; Medikamentenanamnese; SKAT-Test, arterielle + venöse Gefäßdiagnostik)
- Therapieoptionen:
  - Phosphodiesterase-5-Inhibitoren (PDE-5-Hemmer): Sildenafil, Vardenafil, Tadalafil  
NW: z.B. Kopfschmerzen, Gesichtsrötung, Blutdruckabfall, insbes. bei Kombination mit Nitraten, Molsidomin oder Alphablockern; selten Sehstörungen bis Erblindung u.a.  
KI: Zustand nach Herzinfarkt/Schlaganfall in den letzten 6 Monaten oder instabile Angina pectoris; gleichzeitige Therapie mit Nitraten oder Molsidomin; arterielle Hypotonie, Herzinsuffizienz
  - Alternative: Bedarfsgerechte Insulinzufuhr durch Einsatz von Insulinpumpen/-perfusoren
  - Prostaglandin E1 = Alprostadil wird nur bei Versagen der PDE-5-Hemmer eingesetzt.

### ► Diabetesbehandlung in der Schwangerschaft (inkl. Gestationsdiabetes):

- Intensive Kooperation zwischen Diabetologen und Gynäkologen
- Ausführliche Schulung der Patientinnen
- Wenn Behandlung mit Diät + Bewegung allein nicht möglich, Insulintherapie oder Insulinpumpe. Orale Antidiabetika - außer Metformin - kontraindiziert. Bei bekanntem Diabetes Optimierung der Stoffwechseleinstellung bereits vor Konzeption (HbA<sub>1c</sub> < 6,5 %), ggf. mit CGMS + CSII.

Behandlungsziele: BZ nüchtern/präprandial 65 - 95 mg/dl, 1 h postprandial < 140 mg/dl, 2 h postprandial < 120 mg/dl, vor dem Schlafen 90 - 120 mg/dl, nachts zwischen 2 - 4 Uhr > 60 mg/dl, mittlerer Blutzucker 85 - 105 mg/dl, normaler HbA<sub>1c</sub>. Wenn eine asymmetrische Makrosomie vorliegt oder andere Zeichen des Hyperinsulinismus, sind die Behandlungsziele laut Leitlinie noch strenger. Bei optimaler Einstellung ist die Kindersterblichkeit mit der bei Nichtdiabetikern vergleichbar (< 1 %).

Postpartal bildet sich ein Gestationsdiabetes i.d.R. zurück, es besteht aber ein hohes Risiko (50 % in 10 Jahren) für eine spätere Diabetesmanifestation: Deshalb postpartaler OGTT mindestens alle 3 Jahre.

#### Beachte eine Veränderung der Insulinempfindlichkeit in der Schwangerschaft:

1. Zunehmende Insulinempfindlichkeit mit höherer Hypoglykämiegefahr in der 8. - 12. Schwangerschaftswoche
2. Abnehmende Insulinempfindlichkeit in 2. Schwangerschaftshälfte bis ca. 36. SSW → Dosis steigern.
3. Zurückkehrende Insulinempfindlichkeit sofort nach der Entbindung → Dosis deutlich reduzieren.
4. Stillen senkt den Insulinbedarf (und reduziert das Diabetesrisiko von Mutter und Kind!).

### ► Diabetes und operative Eingriffe:

#### - Konstellation: Insulinpatient:

Präoperative Minimalforderung: Kreislauf stabil, Wasser- und Elektrolythaushalt ausgeglichen, Isohydrie, Blutzucker < 200 mg/dl (keine Hypoglykämie), HbA<sub>1c</sub> möglichst < 7,5 %

Operation möglichst früh am Tag einplanen. Unterscheidung: Kleiner, mittelgroßer oder großer Eingriff. Postoperative Insulinresistenz i.d.R. je nach Größe des Eingriffs zunehmend = Insulindosisanpassung notwendig und engmaschige BZ-Kontrolle.

Perioperative getrennte Infusion von Glukose 5 % plus erforderliche Elektrolyte (100 - 200 ml/h) + Normalinsulin i.v. über Perfusor. Insulinzufuhr in Abhängigkeit von der Höhe der Blutglukose steuern (stündliche Kontrollen). Serumkalium alle 4 h kontrollieren.

Alternative: Bedarfsgerechte Insulinzufuhr durch Einsatz von Insulinpumpen/-perfusoren

Aktueller Blutzucker (mg/dl)	Insulindosierung (IE/h)
120 - 180	1,0 wenn präoperativer Tagesbedarf < 40 IE 1,5 wenn präoperativer Tagesbedarf 40 - 80 IE 2,0 wenn präoperativer Tagesbedarf > 80 IE
> 180	jeweils 0,5 IE mehr
< 120	jeweils 0,5 IE weniger
≤ 100	Insulinzufuhr vermindern oder stoppen, Glukosezufuhr erhöhen, Blutzuckerkontrollen alle 15 - 30 Min.

Bei folgenden Eingriffen muss postoperativ mit einem Abfall des Insulinbedarfs mit der Gefahr von Hypoglykämien gerechnet werden:

- Amputation einer Extremität wegen Gangrän und/oder schwerer Infektion
- Exstirpation eines infizierten Organs (z.B. Gallenblase)
- Drainage eines Abszesses oder einer Phlegmone
- Hypophysectomie, Adrenalektomie, Phäochromozytomoperation
- Entbindung per Sectio

- Konstellation: Typ 2-DM/Patienten mit oralen Antidiabetika eingestellt:

Metformin und SGLT2i 48 h vor Operation absetzen, keine Sulfonylharnstoffe am Operationstag!

Kleine und mittlere Op.: Infusion mit 5 % Glukose (Zugabe erforderlicher Elektrolyte), Blutzucker stündlich kontrollieren. BZ < 200 mg/dl → Op. / BZ > 200 mg/dl → Insulinzufuhr (siehe oben)

Wiederaufnahme der Therapie mit oralen Antidiabetika 1 - 2 Tage postoperativ in Abhängigkeit von Mahlzeiten und BZ-Kontrollen - Große Op.: Umstellung auf Insulin präoperativ

**Merke:** Blutzuckernormalisierung durch Insulintherapie kann bei chirurgischen Intensivpatienten die Mortalität um 30 % und septische Komplikationen um fast 50 % senken! Die HbA<sub>1c</sub>-Ziele des Operateurs sollten realistisch formuliert + mit Patienten / Diabetologen partizipativ festgelegt werden.

► **Pankreastransplantation:** (in Deutschland < 100 Pankreastransplantationen/Jahr)

Ind: Diabetische Sekundärkomplikationen (z.B. Nephropathie, Retinopathie und Neuropathie) oder lebensbedrohliche unbewusste Hypoglykämien. Keine Altersbegrenzung. Bei sehr hohem operativem Risiko Inselzelltranstransplantation (kurze Funktionsraten). Eine Nieren-Lebendspende sollte vor Eintreten der Dialysepflichtigkeit erwogen werden.

Verfahren: Simultane Pankreas-/Nierentransplantation (SPK) → am häufigsten, alleinige Pankreastransplantation (PTA) oder Pankreastransplantation nach erfolgter Nierentransplantation (PAK) →

**Cave:** Bei PAK unterschiedliche HLA-Merkmale mit erhöhtem Abstoßungsrisiko.

Immunsuppression nach verschiedenen Protokollen

Prg: 10-J-Überleben von pankreas- und nierentransplantierten Diabetikern ist um 60 % höher als bei alleiniger Nierentransplantation. SPK ist die kosteneffektivste Therapieoption. Dabei liegen die Erfolgsaussichten (= 1-Jahresfunktionsrate) bei 86 % für das Pankreas und 93 % für die Niere.

Voraussetzungen:

1. Typ 1-DM mit Nachweis von Ak gegen GAD und/oder ICA und/oder IA-2 oder negatives C-Peptid
2. Ausschluss schwerwiegender Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Malignomen und akuter Infektionen
3. Blutgruppenkompatibilität und negatives Cross-match (mixed lymphocyte culture = MLC)

► **Therapieformen/Diagnostik in klinischer Erprobung:**

• Entwicklung eines künstlichen endokrinen Pankreas = "Closed-Loop-System", bestehend aus kontinuierlich arbeitendem Glukosesensor, Mikrocomputer in Pumpe oder extern (meist Handy) und Insulinpumpe. Dabei erfolgt eine glukosekontrollierte, algorithmusmodulierte (feed back-regulierte) Insulinzufuhr. Es existieren sowohl industrielle Systeme als auch sog. Do-It-Yourself- (DIY-)Systeme (in Deutschland gemäß Medizinproduktegesetz nicht gestattet). Zukünftig wahrscheinlich mit einer zusätzlichen Infusion von Glukagon über eine Simultanpumpe und Verarbeitung zusätzlicher Informationen (automatische Kohlenhydraterfassung, Herzfrequenz, Körpertemperatur etc.)

• Viele andere Methoden in klinischer Erprobung oder Nutzung, inklusive Apps, Telemedizin und Erhebung von sog. Big-Data über die Gesundheits-Apps von Amazon, Apple, Google etc.

**Prg:** Während die (akute) Komatalität beim DM von > 60 % (um 1900) auf etwa 1 % abgesunken ist (Insulin, orale Antidiabetika), wird heute das Schicksal des Diabetikers durch das Ausmaß der (chronischen) Gefäßschäden bestimmt: Gefäßbedingte (kardiovaskuläre) Todesursachen beim DM betragen 50 - 80 % mit großen weltweiten Unterschieden (deutliche Reduktion in den Industrienationen)! Deshalb sollten Begleiterkrankungen und Risikofaktoren optimal therapiert werden.

Bei frühzeitiger optimaler Therapie des DM inklusive Gewichtsnormalisierung, Fettstoffwechselstörung und Hypertonie ist die Prognose günstig; bei unbefriedigender Diabetesführung sind Lebenserwartung und -qualität deutlich reduziert (siehe oben).

# COMA DIABETICUM = HYPEROSMOLARES HYPERGLYKÄMISCHES SYNDROM (HHS) UND DIABETISCHE KETOAZIDOSE (DKA)

[E10-14.01]

**Def:** Das Coma diabeticum ist eine durch relativen oder absoluten Insulinmangel hervorgerufene schwere Stoffwechsellage mit erheblicher Störung des Sensoriums, die unbehandelt zum Tode führt. Nur etwa 10 % der Patienten sind nach neurologischer Definition tatsächlich bewusstlos.

## Auslösende Faktoren:

Absoluter oder relativer Insulinmangel → weit überwiegend Typ 1-DM

### ▶ Fehlende exogene Insulinzufuhr:

- Erstmanifestation eines bisher unerkannten DM
- Unterlassene Injektion; Unterbrechen der Insulinzufuhr bei Insulinpumpen
- Tabletten statt Insulin (bei Insulinbedürftigkeit)
- Pendefekte, Insulinunwirksamkeit durch Fehllagerung (meist zu heiß oder zu kalt)

### ▶ Ungenügende exogene Insulinzufuhr:

- Ungenügende Dosis verordnet
- Technische Fehler bei der Abmessung und Injektion

### ▶ Erhöhter Insulinbedarf:

- Infekt (Pneumonie, Harnwegsinfekt u.a.)
- Diätfehler
- Operation, Unfall, Gravidität
- Gastrointestinale Erkrankungen
- Herzinfarkt
- Hyperthyreose
- Therapie mit Saluretika, Kortikosteroiden

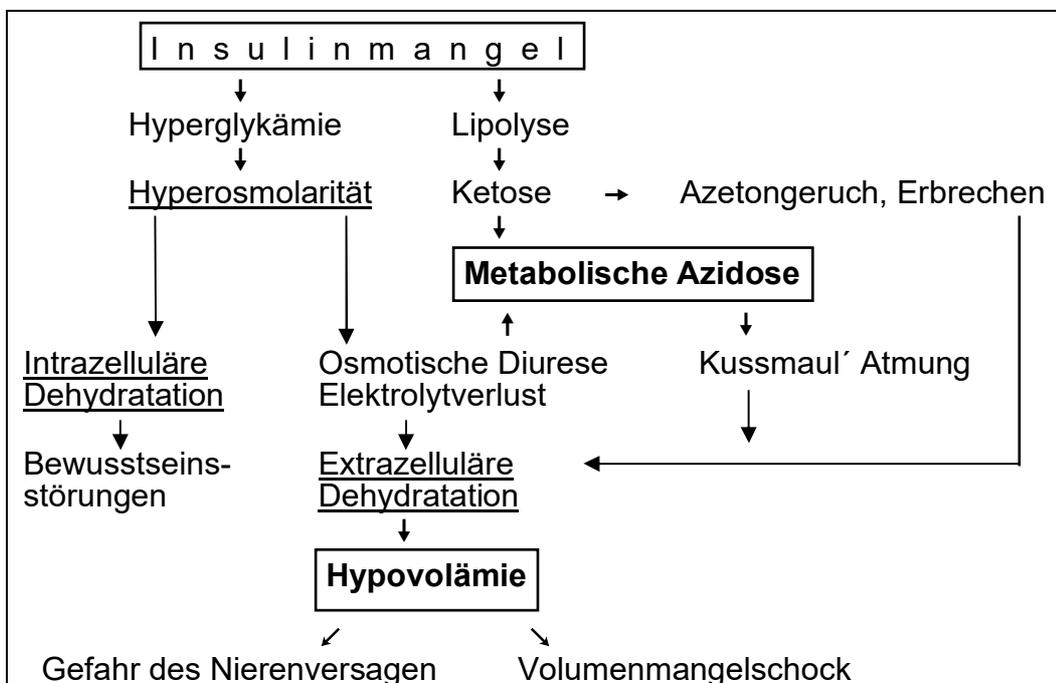
### ▶ Iatrogen medikamentös durch SGLT2i

Euglykämische Ketoazidose bei Typ 1- und Typ 2-DM (selten, aber gefährlich - weil oft unerkannt). Mechanismen wie vorangehend beschrieben, aber durch erhöhte Glukagon- bei gleichzeitig verminderter Insulinausschüttung, renaler Natriumrückresorption bei gleichzeitig verminderte Ketonkörperausscheidung + gesteigerter Lipolyse unter SGLT2i begünstigt.

In 25 % d.F. (bei Kindern < 5 J. bis 40 %) eines diabetischen ketoazidotischen Komats handelt es sich um ein sog. Manifestationskoma, d.h. der DM wird im Zustand des Komats erstmals diagnostiziert. Infektionen stellen die häufigste auslösende Ursache dar (ca. 40 %)!

**Pg.:** Typisch für Typ 1-DM ist das ketoazidotische Koma, für Typ 2-DM das hyperosmolare Koma.

**Merke:** Das Fehlen einer diabetischen Ketoazidose (DKA) schließt ein Coma diabeticum nicht aus!  
Pathogenese des ketoazidotischen Komats:



### • Pathogenese des hyperosmolaren Komats:

Ein relativer Insulinmangel führt zu verminderter peripherer Glukoseutilisation bei gleichzeitig vermehrter hepatischer Glukosefreisetzung. Geringe Mengen Insulin verhindern dabei die Ketose durch Hemmung der Lipolyse im Fettgewebe.

**KL.:** 3 Klinische Formen der diabetischen Dekompensation:

- Kardiovaskuläre Form (Volumenmangel, Schock)
- Renale Form (akutes Nierenversagen)

- Pseudoperitonitische Form: Peritoneale Reizerscheinungen, Magen-Darm-Atonie, bes. Magenüberblähung (→ Ablaufsonde!)  
DD: Akutes Abdomen

### Schweregrade der diabetischen Ketoazidose:

- Leicht: pH < 7,3 - Bikarbonat < 15 mmol/l
- Mittel: pH < 7,2 - Bikarbonat < 10 mmol/l
- Schwer: pH < 7,1 - Bikarbonat < 5 mmol/l

### Beurteilung des Schweregrades akuten Bewusstseinstörung (Vigilanzminderung) mittels der Glasgow-Koma-Skala:

		Punkte
Offnen der Augen	Spontan	4
	Auf Ansprache	3
	Auf Schmerzreiz	2
	Fehlt	1
Verbale Reaktion	Orientiert	5
	Verwirrt	4
	Einzelne Worte	3
	Laute	2
	Fehlt	1
Motorische Antwort auf Stimuli	Folgt Aufforderungen	6
	Gezielte Schmerzreaktion	5
	Ungezielte Schmerzreaktion	4
	Beugesynergismen	3
	Strecksynergismen	2
	Fehlt	1
Maximale Punktzahl		15
Minimale Punktzahl		3

Somnolenz: Patient durch Ansprache erweckbar  
Sopor: Patient nur durch deutliche Stimuli/Schmerzreize erweckbar  
Koma Grad I: 6 - 8 Punkte  
Grad II: 4 - 5 Punkte  
Grad III: 3 Punkte

	Hyperosmolares Koma (typisch für Typ 2-DM)	Ketoazidotisches Koma (typisch für Typ 1-DM)
<b>Präkoma</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appetitlosigkeit, Erbrechen</li> <li>- Durst, Polydipsie, Polyurie</li> <li>- Schwäche, Tachypnoe</li> <li>- Zeichen der Exsikkose mit Kollapsneigung (am stärksten beim hyperosmolaren Koma)</li> </ul>	
	Schleichender Beginn!	Evtl. Pseudoperitonitis (Bauchschmerzen) und Erbrechen Evtl. azidotische (große) Atmung
<b>Koma</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exsikkose und Schockentwicklung (Puls ↑, RR und ZVD ↓)</li> <li>- Oligo-Anurie, erlöschende Eigenreflexe</li> <li>- Ekg: Nach Beginn der Insulintherapie evtl. Hypokaliämiezeichen</li> </ul> <u>Labor:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hyperglykämie</li> <li>- Glukosurie</li> <li>- Na<sup>+</sup> i.S. normal oder leicht erniedrigt</li> <li>- K<sup>+</sup> i.S. unterschiedlich: Trotz Kaliumverlust können die Serum K<sup>+</sup>-Werte infolge Azidose <u>vor</u> Beginn der Insulintherapie normal bis erhöht sein.</li> <li>- Hkt + Hb ↑, Leukozytose</li> </ul>	
	Hyperglykämie > 600 mg/dl Hyperosmolalität > 300 mosmol/kg H <sub>2</sub> O Kaum Azetonurie Anionenlücke normal	Hyperglykämie > 250 mg/dl ( <b>Cave</b> bei SGLT2-Hemmern!!) Ketonurie: im Urinstix Aceton +++ Ketonämie: β-Hydroxybutyrat > 5 mmol/l Metabolische Azidose mit Standardbikarbonat 8 - 10 mmol/l Anionenlücke durch Ketonkörper erhöht

Serum-Osmolalität (in mosmol/kg H<sub>2</sub>O) = 1,86 x Na<sup>+</sup> + Glukose + Harnstoff + 9  
(alles in mmol/l; bei Angabe in mg/dl → Glukose durch 18 teilen und Harnstoff durch 6 teilen.)

Anionenlücke (in mmol/l) = Na<sup>+</sup> - (Cl<sup>-</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)  
Referenzbereich: 3 - 11 mmol/l

## DD: Ursachen einer Bewusstlosigkeit:

- Toxisch:
  - Exogene Vergiftungen (bes. Alkohol, Heroin, Sedativa, Psychopharmaka)
  - Endogene Vergiftungen (Urämie, Coma hepaticum)
- Kardiovaskulär:
  - Kollaps
  - Schock
  - Adams-Stokes-Anfall, Kreislaufstillstand
- Endokrine Störungen:
  - Hypoglykämischer Schock, Coma diabeticum
  - Addison-Krise
  - Thyreotoxische Krise und myxödematöses Koma
  - Hypophysäres Koma
  - Hyperkalzämische Krise
  - Diabetes insipidus
- Zerebrale Erkrankungen (Beachte: Oft mit reaktiver Hyperglykämie!)  
Hypertonische Massenblutung, Enzephalomalazie, Subarachnoidalblutung, sub-/epidurales Hämatom, Schädel-Hirn-Trauma, Epilepsie, Meningitis, Enzephalitis, Sinusthrombose, generalisierter Krampfanfall u.a.
- Psychogen
- Anoxämisch: Erstickung, Hyperkapnie bei respiratorischer Globalinsuffizienz
- Laktatazidotisches Koma  
Urs: Schwere Hypoxie, nach Fruktoseinfusion bei Fruktoseintoleranz, sehr seltene NW einer Biguanidtherapie (Di.: Blutlaktat ↑)

<b>DD</b>	<b>Coma diabeticum</b>	<b>Hypoglykämischer Schock [E15]</b>
Entwicklung	Langsam, oft Tage	Plötzlich, Min.
Hunger		+ + +
Durst	+ + +	
Muskulatur	Hypoton <b>Nie Krämpfe!</b>	Hyperton, Tremor
Haut	Trocken!!!	Feucht
Atmung	Große Atmung,* Azetongeruch	Normal
Augenbulbi	Weich	Normal
	Fieber, Bauchschmerz	Delirante Vorstadien (Fehldiagnose: Alkoholiker!); Evtl. Bild eines zerebralen Insultes mit neurologischen Ausfällen; positiver Babinski, evtl. epileptischer Anfall

\* Beim hyperosmolaren Koma normale Atmung, da keine Ketose (→ auch kein Ketongeruch!).

Die DD zwischen Coma diabeticum und Hypoglykämie ist mittels Blutzucker-Schnellteststreifen schnell gelöst.

Besteht bei dieser Differenzialdiagnose auch nur die leiseste Unsicherheit (Notfalldienst, Blutzuckerteststreifen nicht vorhanden), so darf auf keinen Fall probatorisch Insulin gegeben werden (denn das kann für den Patienten letal enden), wohl aber Glukose, da Glukose i.v. im Coma diabeticum die Situation nicht relevant verschlechtert!

Di.: Anamnese/Klinik - Labor (BZ ↑, bei diabetischer Ketoazidose (DKA) β-Hydroxybutyrat ↑)

Th.: Intensivstation

A) Allgemeinmaßnahmen:

1. Kontrolle von Atmung, Kreislauf, Wasser-/Elektrolythaushalt
2. Blasenkatheter zur Bilanzierung legen (+ ggf. Antibiotikaschutz)
3. Evtl. zentralvenöser Katheter zur Messung des ZVD
4. Evtl. Magensonde (wegen Magenatonie und Pylorospastik mit Brechreiz)
5. Engmaschige Laborkontrollen (Blutzucker stündlich, Kalium + Blutgase alle 2 h)
6. Dekubitus-, Pneumonie- und Thromboembolieprophylaxe wie üblich

B) Spezifische Therapie:

1. Therapie der Dehydratation und Hyperosmolalität:

Beim unbehandelten Coma diabeticum findet sich infolge Exsikkose zwar eine Hypernatriämie, dennoch besteht ein renaler Natriumverlust. Bei normaler Harnproduktion und nur mäßiger Hypernatriämie (< 150 mmol/l) wird mit physiologischer 0,9 %iger NaCl- oder Ringer-Lösung rehydriert. Halbisotone Kochsalzlösung oder hypoosmolare Vollelektrolytlösung können indiziert sein bei ausgeprägter Hypernatriämie (> 150 mmol/l) oder ausgeprägter Hyperosmolalität (> 320 mosmol/kg H<sub>2</sub>O).

Dosierung pro Zeiteinheit: In der 1. Stunde 1000 ml, danach in Abhängigkeit von Urinausscheidung und ZVD: 0 cm H<sub>2</sub>O → 1.000 ml/h, 1 - 3 cm H<sub>2</sub>O → 500 ml/h, 4 - 8 cm H<sub>2</sub>O → 250 ml/h, 9 - 12 cm H<sub>2</sub>O → 100 ml/h. In den ersten 24 h beträgt der durchschnittliche Flüssigkeitsbedarf 5 - 6 L. Nach der 8. Stunde reichen oft 250 ml/h.

Dosisanpassung in Abhängigkeit von Diurese und Klinik (bei Patienten mit Herzinsuffizienz zu rasche Infusion vermeiden → Gefahr des Lungenödems!).

## 2. Insulintherapie:

Im Schockzustand stets nur Normalinsulin intravenös! Plasmahalbwertszeit von Insulin < 10 Min., Wirkdauer 20 - 40 Min. am Insulinrezeptor. Verschiedene Dosierschemata werden empfohlen. Bewährt hat sich bei den meisten Patienten die „low-dose“-Insulintherapie mit einem initialen Bolus von 0,10 - 0,15 IE/kg KG i.v., anschließend ca. 5 IE Normalinsulin/h i.v. über Dosierpumpe unter engmaschiger Blutzuckerkontrolle.

Besteht vor Insulintherapie eine Hypokaliämie (was selten der Fall ist), muss diese zuerst ausgeglichen werden, denn Insulin verschiebt Kalium nach intrazellulär (Gefahr hypoglykämischer Kammerflimmern). Keine Insulintherapie ohne begleitende Volumenzufuhr (Punkt 1). Der Blutzucker sollte maximal 50 mg/dl/Std. + insgesamt nicht unter 250 mg/dl gesenkt werden (zu rasche BZ-Senkung kann zu Retinaschäden und Hirnödem führen).

Vorteil der „low-dose“-Insulintherapie: Weniger Hypokaliämien und Hypoglykämien im Verlaufe der Behandlung sowie geringere Gefahr des Hirnödems.

Anm.: Einige Patienten benötigen höhere Dosen: Fällt unter der anfänglichen Insulindosierung der Blutzucker innerhalb von 2 h nicht ab, müssen die Dosen verdoppelt werden (um eine Insulinresistenz zu durchbrechen, sind in selteneren Fällen erheblich höhere Insulinmengen notwendig). Ist der Blutzucker auf ca. 250 mg/dl abgesunken, reduziert man die Zufuhr von Normalinsulin auf 1 - 2 IE/h, evtl. bei gleichzeitiger Infusion von 5 %iger Glukoselösung. Nicht das Insulin abstellen, da sonst wieder Lipolyse mit Anstieg freier Fettsäuren!

## 3. Azidosekorrektur:

Unter der Insulinwirkung wird die Azidose durch Hemmung der Lipolyse wirksam bekämpft, daher bedarf eine leichte Azidose keiner Korrektur! Nur bei einem pH-Abfall < 7,0 vorsichtige Bikarbonatgabe, hierbei nur 25 % des errechneten Bedarfs geben, weil sonst eine gefährliche Hypokaliämie provoziert wird!

## 4. Elektrolytausgleich:

- Natriumsubstitution im Rahmen der Flüssigkeitssubstitution

- Kaliumsubstitution (sehr wichtig):

Ind: Nach Beginn der Insulintherapie, sobald der Blutzucker sinkt

KI: Anurie, Hyperkaliämie

Dos: In Abhängigkeit von der Höhe des Serum-K<sup>+</sup> und vom pH. Bei pH > 7,1 gelten folgende Richtwerte:

Serum-K <sup>+</sup> (mmol/l)	K <sup>+</sup> -Substitution (mmol/h)
< 3	20 - 25
3 - 4	15 - 20
> 4 - 5	10 - 15

- Phosphatsubstitution:

Ind: Evtl. bei Serum-Phosphat < 0,5 mmol/l

KI: Niereninsuffizienz

Dos: Ca. 50 mmol/24 h

**Merke:** Niedrig dosierte Insulintherapie und langsamer Ausgleich der Stoffwechsellage senken die Komplikationsrate! Die beim Coma diabeticum ablaufenden Wasserverschiebungen im ZNS benötigen einige Zeit zur Normalisierung; deshalb ist es nicht ungewöhnlich, wenn der Patient trotz Normalisierung von Blutzucker, pH und Volumen-/Elektrolytausgleich nicht sofort erwacht und die Bewusstseinsstörung erst verzögert verschwindet.

Übergang von Komabehandlung zu oraler Nahrungsaufnahme:

Aufbau einer leichten Kost, wobei vor jeder Mahlzeit eine kleine Dosis Normalinsulin s.c. gegeben wird. Danach Neueinstellung des DM.

## **HYPOGLYKÄMIE [E16.2] und HYPOGLYKÄMISCHES KOMA [E15]**

**Syn:** Hypoglykämischer Schock, Coma hypoglycaemicum

### **Definition der Hypoglykämie:**

Ein Grenzwert ist schwer festlegbar und orientiert sich an Nicht-Diabetikern, wobei es eine Berechtigung gibt, sowohl einen BZ-Wert unter 50 (2,8 mmol/l) als unter 70 (3,9 mmol/l) als Grenzwert zu definieren:

Blutzucker < 50 (70) mg/dl ohne Symptome = asymptomatische Hypoglykämie

Blutzucker < 50 (70) mg/dl + Symptome = symptomatische Hypoglykämie - 2 Schweregrade:

1. Patient kann sich noch selbst helfen.
2. Patient hat so schwere Symptome, dass er Fremdhilfe braucht.

### **Ät.:** A) Nüchternhypoglykämie:

- Insulinome, extrapancreatische Tumoren (z.B. Leberzellkarzinom)
- Sehr selten paraneoplastische Sekretion insulinähnlicher Peptide (z.B. IGF II)
- Schwere Lebererkrankungen (verminderte Glukoneogenese und Glukoseabgabe), Urämie (Substratmangel für Glukoneogenese)
- Insuffizienz von NNR oder HVL (Ausfall kontrainsulinärer Hormone)
- Sehr selten  $\beta$ -Zellhyperplasie in den ersten Lebensjahren (Nesidioblastose) durch Mutation des Sulfonylharnstoffrezeptors
- Glykogenosen
- Renale Hypoglykämie (renaler DM)
- Neugeborenenhypoglykämie bei diabetischer Mutter

### B) Reaktive (postprandiale) Hypoglykämie:

- Anfangsstadium eines DM
- Magenentleerungsstörung infolge autonomer Neuropathie (diabetische Gastroparese)
- Dumping-Spättsyndrom nach Magenresektion oder bariatrischer Op.
- Reaktives postprandiales bzw. adrenerges postprandiales Syndrom bei erhöhter vegetativer Sensitivität gegenüber einer adrenergen Gegenregulation
- Seltene erbliche Defekte (z.B. Leucin-Überempfindlichkeit, Fruktoseintoleranz)

### C) Exogene Hypoglykämie:

- Überdosierung von Insulin oder Sulfonylharnstoffen (häufigste Ursache)
- Hypoglycaemia factitia: Artifizial durch Insulininjektionen oder Einnahme von Sulfonylharnstoffen (psychotisch, suizidal, akzidentell oder kriminell)  
Kennzeichen: Hypoglykämien treten völlig regellos und unabhängig von den Mahlzeiten auf. Betroffene sind oft in Heilberufen tätig oder Angehörige von Diabetikern.
- Alkoholexzess mit Nahrungskarenz
- WW von Medikamenten mit Antidiabetika (z.B. Sulfonamide, nichtsteroidale Antirheumatika, Betablocker, ACE-Hemmer)

### Ursachen einer Hypoglykämie bei DM:

1. Am häufigsten relative Überdosierung von Insulin (oder Sulfonylharnstoffen), z.B. wenn die Patienten im Rahmen interkurrenter Erkrankungen die gewohnte Nahrungszufuhr unterlassen oder bei ungewohnter körperlicher Belastung die Antidiabetika aber in unveränderter Dosis weiter einnehmen! Bei der Neueinstellung mit Sulfonylharnstoffen kann sich nach ca. 3 Wochen die Stoffwechsellage bessern (Glukosetoxizität ↓), sodass dann bei ausbleibender Dosisreduktion Hypoglykämien auftreten können. Unter intensivierter Insulintherapie mit optimalen BZ- und HbA<sub>1c</sub>-Werten wird die Gratwanderung zur Hypoglykämie immer schmaler (Aggressivität der Therapie steigt, Autoregulationsfähigkeit sinkt). Daher liegt der untere Zielwert des HbA<sub>1c</sub> bei Typ 2-Diabetikern unter ICT (ohne Sensorkontrolle) bei minimal 6,5 %. Tiefere Werte erhöhen das Hypoglykämierisiko und haben meist keinen rechtfertigenden Benefit! Bei häufigen Hypoglykämien vermindert sich auch die Hypoglykämiewahrnehmung, sodass autonome Warnsymptome oft nicht mehr rechtzeitig wahrgenommen werden.

In diesem Falle werden bei Typ 1- und zunehmend auch Typ 2-Diabetikern CGMS mit/ohne CSII eingesetzt.

2. Interferenz mit blutzuckersenkenden Medikamenten
3. Absolute Überdosierung (akzidentell, suizidal, kriminell)
4. Starke körperliche Belastung
5. Alkoholgenuss (Alkohol hemmt die Glukoneogenese)
6. Kurz vorangegangene Hypoglykämie, da die Gegenreaktion auf Folgehypoglykämien mit jeder Hypoglykämie weiter abgeschwächt wird.

<b>KL.:</b>	<b>Phasen</b>	<b>Symptome und klinische Zeichen</b>
	1. <u>Autonome Symptome:</u> a) <u>Parasympathikotone Reaktionen</u> b) <u>Sympathikotone Reaktionen</u>	<u>Heißhunger</u> , Übelkeit, Erbrechen, Schwäche  <u>Unruhe, Schwitzen, Tachykardie, Tremor</u> , Mydriasis, Hypertonus, Atemfrequenzanstieg
	2. <u>Zentralnervöse = neuroglukopenische Symptome</u>	Kopfschmerzen, endokrines Psychosyndrom (Verstimmung, Reizbarkeit, Konzentrationsschwäche, Verwirrtheit), Koordinationsstörungen, <u>primitive Automatismen</u> (Grimassieren, Greifen, Schmatzen), <u>Konvulsionen, fokale Zeichen</u> (Hemiplegien, Aphasien, Doppelbildersehen), Somnolenz, hypoglykämischer Schock = hypoglykämisches Koma, zentrale Atem- und Kreislaufstörungen

Bei schwerer autonomer Neuropathie können die Symptome unter 1 abgeschwächt sein oder fehlen! Glukose ist die einzige Energiequelle für den Hirnstoffwechsel → hohe Empfindlichkeit des Gehirns gegenüber Hypoglykämie. Demenzen mutmaßlich bei rezidivierenden Hypoglykämien gehäuft.

**DD:** Coma diabeticum (DD-Tabelle: siehe dort), Psychosen, Epilepsie, Schlaganfall u.a.

**Merke:** Bei plötzlich auftretenden, ätiologisch unklaren neurologischen oder psychiatrischen Symptomen immer an Hypoglykämie denken und BZ bestimmen!

**Di.:** Bestimmung der Blutglukosekonzentration bei jedem Notfall! Hypoglykämische Symptome treten meist erst bei Werten < 50 mg/dl auf (bei „schlecht eingestellten“ Diabetikern oft auch bei Werten weit darüber - dann zwar keine neuroglukopenen Symptome, aber ggf. kardiovaskuläre Komplikationen durch die adrenerge Gegenregulation).

Bei Spontanhypoglykämien von Nichtdiabetikern muss durch weitere Diagnostik die Ursache abgeklärt werden:

Bestimmung von Blutglukose, Seruminsulin und C-Peptid während einer Spontanhypoglykämie oder im 72 h-Hungerversuch (= Fastentest mit initialem oGTT) mit Bestimmung des Insulin-/Glukose-Quotienten während einer Hypoglykämie (siehe Kap. Insulinom).

Insulin und C-Peptid zeigen bei endogener Sekretion einen parallelen Anstieg; bei Hypoglykämie infolge exogener Insulinzufuhr (Hypoglycaemia factitia) ist das C-Peptid erniedrigt! Bei Einnahme von Sulfonylharnstoffen (z.B. bei Suizid) sind Insulin und C-Peptid erhöht. Nachweis von Glibenclamid i.S. oder Proinsulin i.S. (hoch bei Insulinom, normal bei Einnahme von Sulfonylharnstoffen) helfen hier weiter.

Späthypoglykämien kann man objektivieren im oGTT über 5 h.

**Th.:** A) Kausal: So weit möglich Beseitigung der auslösenden Ursache, evtl. Asservierung einer Blutprobe zur Diagnostik

B) Symptomatisch:

Leichte Hypoglykämie (Bewusstsein noch vorhanden): 20 - 40 g Glukose = Dextrose = Traubenzucker (evtl. auch Saccharose = Rohr- und Rübenzucker) oral. Oligosaccharid-Getränke (Obstsäfte, Cola) sind auch geeignet, sofern keine Therapie mit Acarbose ( $\alpha$ -Glukosidasehemmer) erfolgt ist.

Schwere Hypoglykämie: 40 ml 40 %ige Glukose rasch i.v.; BZ-Kontrollen, anschließend 5 %ige Glukose per infusionem (bis Blutzucker ca. 200 mg/dl).

Glukagon:

Wenn kein venöser Zugang möglich, Patient aggressiv ist oder durch Laien erstversorgt wird: 1 mg Glukagon i.m. oder s.c. (z.B. GlucaGen Hypokit®). Glukagon transnasal Baqsimi® 3 mg (Vorteil: Die Anwendungswahrscheinlichkeit durch Laien steigt bei nasaler Applikation um das 4 - 5-fache): Steigerung der endogenen Glukoseproduktion. Glukagon wirkt nicht bei Erschöpfung der Glykogenreserve i.R. repetitiver Hypoglykämien oder bei alkoholinduzierter Hypoglykämie. Nach dem Erwachen sofort Glukose weiter zuführen unter BZ-Kontrolle.

Therapie reaktiver Hypoglykämien bei vegetativer Labilität: Kohlenhydratarme, fett- und eiweißreiche Kost in Form vieler kleiner Mahlzeiten, Gabe von Parasympatholytika oder ggf. auch nicht-kardioselektiver niedrig dosierter Betablocker

Therapie des Dumping-Syndroms: Siehe dort

Therapie des Insulinoms: Siehe dort

**Pro:** Validierte Schulungen von Diabetikern mit Erlernen auf Frühsymptome einer Hypoglykämie zu achten (z.B. HYPOS-Schulung: Steigerung des Hypoglykämieempfindens bzw. der „Hypoglycemia awareness“).

Zum Einsatz von Gewebesensoren → siehe unten

## Anmerkung zur klinischen Relevanz von Hypoglykämien bei Typ 2-Diabetikern:

Insbesondere das Auftreten von Hypoglykämien wird für die Verschlechterung der Prognose von Patienten mit langjähriger Diabetesdauer und (niedrig-)normaler Einstellung verantwortlich gemacht. Postuliert wird, dass zahlreiche Diabetiker mit zunehmender Krankheitsdauer kardiovaskuläre Folgeschäden entwickelt haben bei gleichzeitig verminderter sympathikogener Gegenregulation bei Hypoglykämien. Deshalb geht der Trend dahin, Diabetiker zu Erkrankungsbeginn so straff wie möglich und vertretbar zu führen (auch wegen des „glykämischen Gedächtnisses“) und die Therapieziele mit fortschreitender Krankheitsdauer zu liberalisieren:

HbA<sub>1c</sub>-Ziel für die meisten Typ 2-DM bleibt < 7 % (orale Medikation mit niedrigem Hypoglykämierisiko < 6,5%)

- Zur Prävention mikrovaskulärer Ereignisse
- Zur Reduktion des kardiovaskulären Risikos

Niedrigere HbA<sub>1c</sub>-Ziele für Typ 2-Diabetiker, wenn:

- Erreichbar ohne Hypoglykämien (mit Kombination moderner OAD oder mit Glukosesensoren oft möglich!)
- Kurze Diabetesdauer, normale Lebenserwartung und keine kardiovaskulären Erkrankungen

Weniger strenges HbA<sub>1c</sub>-Ziel für Typ 2-Diabetiker, wenn:

- Hypoglykämien aufgetreten sind und die Lebenserwartung vermindert ist durch:
- Fortgeschrittene mikro- und makrovaskuläre Erkrankungen
- Multiple Komorbiditäten und Schwierigkeiten bei der Zielwerterhaltung
- Patientenwunsch, trotz verstandener Aufklärung

Siehe auch Positionspapier der Deutschen Diabetesgesellschaft (→ *siehe Internet*)

## Kontinuierliche Glukose-Monitoring (CGM)-Systeme und ambulantes Glukoseprofil (AGP) mit Warnfunktion

Funktion: Sensor wird unter die Haut geführt (meist Nadelsensor) zur Messung der Glukosekonzentration in der interstitiellen Flüssigkeit (ISF). Aufgrund unterschiedlicher Messtechniken variiert die Liegedauer zwischen 6 - 14 Tagen (amperometrische Enzymsensoren = Nadelsensoren) bis zu 6 Monaten (implantierbare Fluoreszenzsensoren). Während zu Beginn der Entwicklung (fast) jedes System durch mehrere klassische Blutzuckermessungen pro Tag kalibriert werden musste, geht der Trend immer mehr zur Autokalibrierung. Es werden in kurzen Zeitabständen mehrere Messungen durchgeführt und ein Mittelwert errechnet, der an ein Lesegerät gesendet wird. Möglicherweise künftig transkutane Sensoren (Glucose-Watches)

**Wichtig: Der Gewebezucker entspricht dem Blutzucker nicht 1:1, sondern er folgt diesem mit einer Verzögerung von ca. 20 Minuten. Bei Unsicherheiten immer konventionelle Kontrollmessung.**

- Ind:
- Intensivierte und selbstständig angepasste Insulintherapie (außer Kinderdiabetologie): Siehe dazu auch Beschluss des GBA und Bereitschaft die Warnfunktionen kontinuierlich (v. a. nachts) zu nutzen.
  - Häufige schwere Hypoglykämien (mit der Notwendigkeit von Fremdhilfe), schwere nächtliche Hypoglykämien, nachgewiesene Hypoglykämiewahrnehmungsstörungen
  - Kinderdiabetologie
  - Unbefriedigende Stoffwechselkontrolle, wenn trotz Nutzung aller zur Verfügung stehender Therapieoptionen (auch CSII), guter Compliance und Ausschluss schwerer psychologisch-psychiatrischer Störungen der angestrebte HbA<sub>1c</sub>-Wert nicht erreicht wird
  - Vor/während Schwangerschaft mit unbefriedigender Stoffwechselkontrolle unter Einsatz konventioneller Therapieformen (Prognoseverbesserung bei GDM nicht nachgewiesen)
  - Notwendigkeit von mehr als 8 - 10 Blutzuckermessungen/Tag zur Erreichung des angestrebten Stoffwechselziels
  - Bereitschaft zur Teilnahme und Umsetzung einer strukturierten CGM-Schulung und Betreuung durch einen geschulten und CGM-erfahrenen Diabetologen und Team

Vorteile: Weniger Unterzuckerungen (vor allem fremdhilfebedürftige), besserer HbA<sub>1c</sub> und bessere Time-in-Range (TIR). Durch die Sensortechnik erhält die TIR einen ähnlich bedeutsamen Stellenwert wie der HbA<sub>1c</sub>. Weniger Selbstverletzungen, insbesondere bei Kindern. Langfristig wahrscheinlich Reduktion von Folgeerkrankungen und Verbesserung der Quality-of-Life.

Loop-Systeme = Kombination von kommunizierender Recheneinheit + Glukosesensor + Insulinpumpe  
Es gibt verschiedene Insulinpumpen, im Rahmen eines Hybrid-Closed-Loop-Systems. Zahlreiche weitere Systeme in klinischer Erprobung.

In Deutschland sind Do-It-Yourself-Systeme (DIY) wegen nicht durch die Gesundheitsbehörden validierten Algorithmen und damit ohne CE + Medizingeräteverordnung-Zulassung nicht verordnungsfähig, weshalb **speziell eine DIY-Loopberatung/-bewerbung** durch den Arzt + Team gesetzeswidrig ist.

Nicht gesetzeswidrig ist jedoch auch weiterhin die Insulin-/CGM-/Pumpen- und Gesundheitsberatung: **Diese Beratungen auf keinen Fall wegen eines DIY-Loops verweigern!**

Da die kommerziellen Loop-Systeme immer effizienter werden und zunehmend auch individuelle Zieleinstellungen möglich sind, werden mutmaßlich die DIY-Systeme immer weiter verdrängt.