

Læringshjulet - hvordan lærer man bedst?

Version 9.1. Af Jan Ivan Hansen. Cand.scient. i biologi-kemi, gymnasie-/studieteknik-/mnemotekniklærer, forfatter, foredrags-/kursus-/workshop-afholder. <https://jan-ivans-studieteknikskole.webnode.dk/>

Det nedenstående **læringshjul** præsenterer nogle af de vigtigste læringsfremmende metoder. Fokus er på **forståelse** og **hukommelse**. Start ved punkt 1 for at opnå en bedre forståelse af materialet, der arbejdes med. Gå så til punkt 2 for at huske materialet bedre. Slut med punkt 3 hvor man tidsforskudt og flere gange genbesøger materialet for at opnå mere forståelse og endnu bedre hukommelse.

Jeg kalder metoden for et hjul, fordi effektiv læring kræver repetition og genbesøg – noget cirkulært – at vi vender tilbage til det gamle, flere gange. Læringshjulets elementer uddybes i artiklen. I de forskellige trin kan AI (kunstig intelligens) med fordel inddrages. Men først vil jeg fortælle lidt om mig selv, mit arbejde med læringshjulet og min læringstænkning. **NB! Jeg bilder mig ikke ind, at jeg ved alt om læring eller har fundet de endegyldige vise sten.** Dette er blot et bud på hvordan man lærer bedst. Men mit bud tager udgangspunkt i anerkendte videnskabelige kilder fra den kognitive psykologi ("indlæringspsykologien").



Lidt om mig selv, mit arbejde med læringshjulet og min læringstænkning

Jeg er cand.scient. i biologi-kemi, og har siden 1990 arbejdet som gymnasie- & Hf-lærer. Det jeg oplever, der særligt udfordrer og frustrerer mange elever/kursister er dels, at forstå materialet - og især at huske det, der umiddelbart er forstået, dvs. skabe langtidshukommelse. Desværre overføres det, man umiddelbart har forstået, kun sjældent per automatik til langtidshukommelsen, men det meste glemmes hurtigt igen. Det er en konsekvens af hukommelsens biologi. Det man har forstået skal også huskes!



Kort om hukommelsen og læreprocesser

Hjernen indeholder mange hukommelsessystemer som samarbejder. Jeg vil koncentrere mig om de to systemer, der har størst betydning for deklarativ læring¹, nemlig **korttids-/arbejdshukommelsen (KAH)** samt **langtidshukommelsen (LH)**.

KAH arbejder med informationer - dels nye informationer som KAH tager ind fra det nye materiale, man arbejder med - og dels gamle informationer, fra LH, også kaldet "arkivskabet"². Arbejdshukommelsen er vores "tænkehat", "THINKING CAP"³, "problemknuser" - en "processorenhed" der arbejder med nye og gamle informationer. Forståelse sker i arbejdshukommelsen.



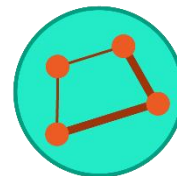
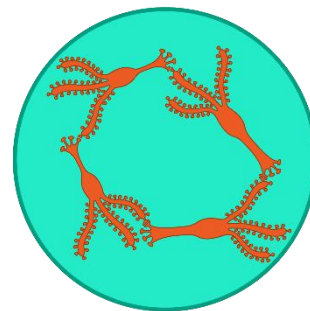
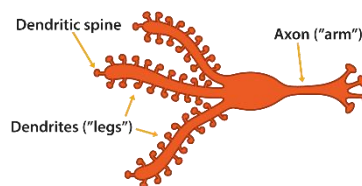
Korttidshukommelsen er den lagerenhed, som arbejdshukommelsen benytter sig af, når den fastholder informationer under tænkningen. Men korttidshukommelsen kan kun huske (lagre) nye informationer i kort tid, typisk sekunder, og kan kun håndtere få nye informationer ad gangen. Den voldsomme begrænsning KAH har, ses tydeligt når vi fx skal huske et nyt telefonnummer, indtil vi kan nå at skrive det ned, eller når vi fx laver hovedregning. Hvis vi bliver forstyrret, glemmer vi, hvad vi havde gang i, og må starte forfra. De nye informationer er kun i KAH, så længe vi holder dem fast i vores bevidsthed. Hvis du fx ikke længere tænker på det nye telefonnummer, så er det glemt igen i løbet af få sekunder.

Gamle informationer, som KAH ("tænkehat") henter ind fra langtidshukommelsen ("arkivskabet"), belaster ikke KAH. Tværtimod. Jo mere information, viden og forståelse vi har lagret i LH ("arkivskabet"), jo bedre evne har vi til at tænke fagligt, lave problemløsning og tænke kreativt - og jo bedre mulighed har vi for at lære noget nyt. Dette er et vigtigt resultat fra den kognitive psykologi, og fremhæves gang på gang i den glimrende bog **Uncommon Sense Teaching**.⁴ Derfor anbefaler forskerne i bogen, at man skal have særlig fokus på hukommelsesunderstøttende undervisning (dette gælder særligt for elever, der har en lavere kapacitet i deres korttids-/arbejdshukommelse), hvis man i væsentlig grad vil løfte elevernes faglige niveau. For ny kunnen, viden og forståelse, skal understøttes af den "gamle" kunne, viden og forståelse, som er solidt lagret i langtidshukommelsen (LH).

Hjerneforskningen efterlader ingen tvivl; alt der er lært, skal være lagret solidt i langtidshukommelsens neurale netværk⁵. - Og det er disse netværk, vi primært bruger til at tænke med. Processen med at lære nyt materiale, og placere de vigtigste elementer solidt i langtidshukommelse, kaldes i bogen **Uncommon Sense Teaching** for "**Learn It - Link It**". Det vil jeg kort forklare ud fra en af bogens illustrationer (se figuren til højre).

Øverste billede: Nervecellen har "små ben med fremspring på" kaldet "dendrites" (ben) og "dendritic spine" (fremspring på dendritterne). Nervecellen har også en "arm" kaldet axonet ("axon").

Mellemste billede: Når vi lærer noget nyt, dannes der forbindelser imellem nervecellerne, idet de rækker ud til hinanden og skaber fysisk kontakt. Axonet (armen) fra en nervecelle rækker ud og danner kontaktpunkt med et dendritisk fremspring på "benet" fra en anden nervecelle. Kontaktpunktet mellem nervecellerne kaldes for en synapse (er ikke vist i figuren).



¹ Nogle af de i Læringshjulet beskrevne metoder til at placere informationer i langtidshukommelse involverer også det procedurale hukommelsessystem. Men det kommer jeg ikke nærmere ind på.

² Kilde til arkivskab billedet: <https://www.wannapik.com/vectors/23992?search%5Bquery%5D=Fly>

³ Kilde til thinking cap billedet: https://educatorclips.com/thinking_cap.html

⁴ Oakley, Barbara, Rogowsky, Beth & Sejnowski, Terrence J.: **Uncommon Sense Teaching. Practical Insights in Brain Science to Help Students Learn**, TarcherPerigee, 2021.

⁵ Kilde til "Learn It - Link It" figuren: <https://barbaraoakley.com/downloads/>

Nederste billede: Et netværk af forbundne nerveceller kan illustreres med cirkler. Stærkere nerveforbindelser kan vises med tykke linjer imellem cirklerne (nervecellerne), og svagere nerveforbindelser kan vises med tynde linjer. I illustrationen er vist, at 4 nerveceller danner fysisk kontakt med hinanden (synapser) i et lille neuralt netværk. Dette repræsenterer en nyligt lært information. Figuren er selvfølgelig en stærk forsimpning af virkeligheden, idet én nervecelle kan danne tusindvis af forbindelser (synapser) til andre nerveceller.

Når man begynder at arbejde fokuseret på at lære ny information – fx når man lytter til en forklaring, læser i en lærebog eller ser en undervisningsvideo – begynder nervecellerne i forskellige dele af hjernen at række ud efter hinanden. Når man derefter, for første gang, begynder at arbejde aktivt med den nye information, fx øver sig, begynder nervecellerne at danne nye – men svage – fysiske forbindelser til hinanden – nye synapser dannes. Dette er ”Learn It” fasen.

Når man efterfølgende aktivt arbejder yderligere med den nye information, på forskellige måder, gentagne gange, fordelt over tid, vil nogle nerveforbindelser svækkes, mens andre nerveforbindelser styrkes. Vi begynder så småt at danne langtidshukommelse. ”Link It” fasen er i gang. Hvis man fortsætter med yderligere øvelsen (træning) og brug af informationen, og øger kompleksiteten af denne træning/øvelse/brug, så styrkes de neurale netværk yderligere, og forbindelser dannes til andre nerveceller. Tingene begynder at sidde godt fast i langtidshukommelsen. ”Link It” fasen er lykkedes.

Konklusionen fra hjernebiologien er tydelig: Informationer skal lagres solidt i langtidshukommelsens neurale netværk, for at man kan sige, at det nye er lært. HVIS INTET HUSKES, ER INTET LÆRT – det gælder ikke bare for faktuelle informationer, men også for kompleks viden og forståelse. I den forbindelse er det ret ærgerligt for eleverne, at der er for lidt fokus på hukommelsesunderstøttende aktiviteter i den dominerende danske læringsforståelse].



Eksamener og prøver⁶ er altså primært en test af hukommelsen. For at forstå og huske materialet bedre, benytter mange elever/kursister (og en del studerende) sig ofte af disse 5 mindre effektive metoder: 1) genlæsning af materialet, 2) afskrivning af materialet, 3) understregning af vigtige ting i materialet, 4) sidste øjeblikks terperi samt 5) gennemsyn af undervisningsvideoer. De 5 metoder giver ikke en tilstrækkelig dyb bearbejdning af stoffet, hvorfor det ofte ikke forstås og ikke huskes lige så godt, som hvis mere effektive metoder benyttes. Mere om det i det nedenstående.

Jeg har p.t. (19-8-2025) læst 24 bøger og en del forskningsartikler om læring, forståelse, hukommelse og husketeknik (mnemoteknik). Psykologiprofessor Kenneth L. Higbee har skrevet en glimrende bog om hukommelsen, og hvordan man med fordel kan bruge husketeknikker, som et godt hukommelsesredskab i en lang række boglige fag⁷. Men det er særligt den amerikanske professor i kognitiv psykologi, Henry L. Roediger III, jeg er inspireret af i mit arbejde med læringshjulet⁸.

Læringshjulets metoder forbedrer både forståelsen og hukommelsen. Læringshjulet er dog IKKE en trylleformular, men kræver opmærksomhed, vilje og udholdenhed/vedholdenhed (”GRIT”) for at det virker. Desuden er det min erfaring, at vanens magt er stor, hvorfor det kan være vanskeligt at få elever til at bruge læringshjulets ”nye” metoder, på trods af at forskning dokumenterer, de er effektive. Mange elever holder fx fast i genlæsning og understregning af tekst, når de prøver på at huske.

Moderne skoletænkning har stor fokus på højere læringsaktiviteter som fx udvikling af kritisk sans, projektarbejde, kreativitet og innovation. Problemet er at disse progressive læringsaktiviteter, som

⁶ Kilde til figuren hvor pigen sidder og sveder ved en skriftlig prøve under tidspres: <https://www.wannapik.com/vectors/80053>

⁷ Higbee, Kenneth L.: *Your memory, How It Works & How to Improve It*, DA CAPO PRESS LIFELONG BOOKS, 2001.

Husketeknikker bliver af skeptikere kritiseret som overfladisk indlæring. Men hvad er alternativet til dette i et skolesystem, hvor overbelastede læreplaner, og tusindvis af læringsmål, levner alt for lidt tid og plads til at placere de vigtigste faglige pointer i elevernes langtidshukommelse – dybdelæring? Vil man have at eleverne husker endnu mindre?

⁸ Brown, Peter C., Roediger III, Henry L., Mark A. McDaniel, Mark A.: *Make It Stick: The Science of Successful Learning*. THE BELKNAP PRESS of HARVARD UNIVERSITY PRESS Cambridge, Massachusetts London, England 2014. Bogen har en webside: <https://makeitstick.net/> Roedigers gamle elev, Yana Weinstein, er medforfatter på denne glimrende bog: *Understanding How We Learn. A Visual Guide*. A David Fulton Book, 2019. Medforfattere: Megan Sumeracki og Oliver Caviglioli. Bogen har en webside: <http://www.learningscientists.org/>

hovedregel, ikke kan nå et særligt højt fagligt niveau, uden at eleven/kursisten har en masse solid faglig viden og forståelse lagret i LH, som KAH ("tænkehatten") kan trække på. - Og den tid, der er til rådighed i fagene til at sikre lagring af solid faglig viden og forståelse i LH ("arkivskabet"), er under et voldsomt pres, da de ambitiøse læreplaner vil alt for mange ting ift. den tid, der er til rådighed i undervisningen.

Gentager. Det er sådan, at jo mere man ved - altså har lagret af viden/forståelse i LH - jo mere nyt kan man forstå og lære, da ny viden og ny forståelse skal bygge på det, man i forvejen husker (igen: forståelse skal også huskes). Hjernen er plastisk/formbar. Hver gang vi lærer noget nyt, som lagres i LH, så forandres og styrkes de neurale netværk – synapseforbindelserne – og det er disse neurale netværk, vi bruger til at tænke med.⁹ Afgørende vigtige kompetencer som kreativitet og innovation kommer ikke ud af den blå luft, men hviler på hukommelsesbaseret viden/kunnen og forståelse. Kreativitet og innovation kræver, at vi øver os i at tænke ud af boksen. MEN det kræver jo, at der er noget i boksen, vi kan bruge til at tænke med!

Uddybning af læringshjulet

I det følgende skelnes mellem metoder, der enten forbedrer forståelsen eller hukommelsen. Det er en meget firkantet inddeling, som er lavet for at skabe overblik. Forståelse og hukommelse er to sider af samme sag.

Forståelsen af materialet, man arbejder med, kan øges ved brug af mange konkrete eksempler, elaborering (på engelsk; *elaboration*)/analogier, dybere udspørgen (eng. *elaborative interrogation*)/tænk dybere, generativ læring (eng. *generation*, dvs. opgaveløsning, forklare og formulere noget selvstændigt, o. lign.) samt dobbelt indkodning (arbejde med billeder, ord og håndtegninger). Lad os se nærmere på disse metoder.



Mange konkrete eksempler. Skolefag bruger mange abstrakte begreber. Det abstrakte er ofte svært at forstå, da det er svært at forholde sig til. Det skal gøres konkret. Jo flere og forskellige konkrete eksempler, jo bedre forståelse.

I fysik- eller kemibogen står fx at "*densitet er massefylde, dvs. massen af et givet volumen/rumfang af et stof*". Det abstrakte densitetsbegreb kan gøres mere forståeligt ved brug af mange og forskellige eksempler. Mangfoldigheden skal sikre, at definitionen af begrebet densitet - og ikke kun eksemplerne – huskes.

Eksempel A. At prutte under vand¹⁰. Noget alle har prøvet og kan forholde sig til. Prutterne stiger op af vandet, fordi de har en lavere densitet – er lettere end vandet.

Eksempel B. Sten synker i vand. Alle har nok prøvet at kaste sten ud i havet eller i en sø. Stenen synker, fordi den har højere densitet – er tungere end vandet.

Eksempel C. Benzin/olie flyder over på vand. Hvis man har besøgt en havn, har man måske lagt mærke til en tynd væskehinde, der flyder oven på vandet. Det er



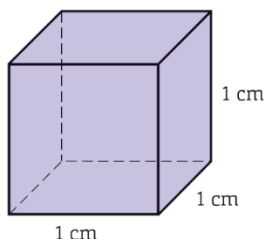
⁹ Poulsen, Sten Clod: *Tilegnelse af boglige fagkundskaber*, MetaConsult Forlag 2006, side 104. Sten har i årtier (*forgæves?*) argumenteret for, at læringstænkning ikke giver mening uden, at man systematisk inddrager hukommelsen i tænkningen.

¹⁰ Kilde til at prutte under vand billedet: <https://www.flickr.com/photos/farts/with/271991228>

Kilde til konkrete eksempler figuren og elaborering figuren: <https://www.learningscientists.org/downloadable-materials>

spild af benzin eller olie. Det fylder oven på vandet, fordi det er lettere end vandet.

Herefter kan man lade eleverne arbejde sammen om at finde på flere konkrete eksempler på densitet. Dette knytter begrebet densitet mere fast til elevernes personlige erfaringer, der ligger lagret i langtidshukommelsens neurale netværk ("Learn It – Link It").



Nu skal matematikken kobles på densitetsbegrebet. Vand har densiteten 1,0 gram per milliliter eller per cm^3 , og benzin har densiteten 0,7 g/cm^3 . Nu er en del elever slået hjem, for at bruge ludo sprog. Matematikken skal gøres meget konkret. Man bruger en terning på 1 cm x 1 cm x 1 cm som illustration, og så skal eleverne erkende, at man kan proppe 1 gram vand ind i den lille terning, men kun 0,7 gram benzin – altså mindre - hvorfor den lettere benzin fylder oven på vandet.

Det er oplagt, at eleverne også kan bruge kunstig intelligens her, som en elektronisk hjælpelærer. En prompt, som eleven kan bruge, kan fx lyde:



"Du er nu ekspertlærer i fysik-kemi, og jeg er en gymnasieelev, som har svært ved at forstå begrebet DENSITET eller MASSEFYLDE. Forklar begrebet densitet for mig – på forskellige pædagogiske måder - ved fx at ved at bruge mange konkrete eksempler til at forklare begrebet med".

Elaborering (eng. elaboration)/analogier. Elaborering bruges her i betydningen "at forbinde det nye, man skal lære, til noget man i forvejen husker og forstår".

Et eksempel på elaborering fra erhvervsøkonomi. Begrebet "knaphed" betyder at "efterspørgslen på en vare eller tjenesteydelse er større end tilgængeligheden af varen eller tjenesteydelsen".

Eks. A. Når kornhøsten har slået fejl, er der knaphed (mangel på) på korn i verden, set i forhold til alt det korn verden har brug for til husdyrfoder, fremstilling af mel til bagning af brød, osv. Flere eksempler på knaphed kan gives af læreren, hvis begrebet ikke umiddelbart er forstået. Herefter kan man evt. lade eleverne arbejde sammen om at finde på flere konkrete eksempler på knaphed. Dette knytter begrebet knaphed mere fast til elevernes personlige erfaringer, der ligger lagret i langtidshukommelsens neurale netværk ("Learn It – Link It").



Analogier er mere det "at beskrive eller forklare noget ved at tage udgangspunkt i noget andet. Ideen er, at hvis der er væsentlige ligheder, må det meste af det man kan sige om det ene, også gælde om det andet."



Et eksempel fra biologi. I biologibogen står fx: "Via fotosyntesens kemiske reaktioner overføres sollysets energi til energifattigt vand og kultveilde, der omdannes til energirigt druesukker og samt energifattigt ilt". Analogien kan være at betragte planterne som en "sodavands- og ilt-fabrik"¹¹, der via lyset i fabrikshallen omdanner energifattigt dansk vand (indeholder nul kalorier, da det kun består af vand og CO_2) til energirig Faxe Kondi (indeholder druesukker - ny energi til hjerne og muskler) samt ilt. Det kræver selvfølgelig, at eleverne i forvejen ved dette om dansk vand og Faxe Kondi –

at det allerede ligger i deres "arkivskab". Hvis ikke - vil det blot være endnu mere ny information, de skal fastholde i den skrøbelige arbejds hukommelse.

Kilde til AI hovedet: <https://emojis.sh/emoji/robot-ai-7oJ9IDTwXC>

¹¹ Kilde til "grøn fabrik billedet": <https://www.wannapik.com/vectors/26950>

En elaborering om fotosyntesen kan være at minde eleverne om, at de kan bruge deres hverdagsviden om planter til at forstå/huske fotosyntesen bedre ("Learn It – Link It"):

vand + "CO₂ støvsuger" + lys → sukkerroesukker + "verdens lunger"

Mange elever ved nok dette: Man skal vande pottedplanterne, ellers dør de - træerne støvsuger luften for drivhusgassen CO₂ - hvis pottedplanterne ikke får lys, så dør de [nu er reaktanterne i fotosyntesen på plads]. - Og mange elever ved nok også dette: Sukker stammer fra "naturens kemi", hvor sukkerroer eller sukkerrør laver sukker – og fotosyntesen laver verdens ilt, som dyrene og vi indånder [nu er produkterne på plads]. Fotosynteseeksemplet viser blot hvor vigtig hukommelsesbaseret basisviden er for tilegnelse af ny viden. Det er svært at lave "Link It", hvis der ikke er noget at forbinde den nye viden til i langtidshukommelsens neurale netværk! (Det er vigtigt at være opmærksom på i et skolesystem, hvor fokus er flyttet over imod "højfaglighed" – fx løsning af klima- og energikrisen. Uden et fagligt solidt fundament i LH ("lageret"), vil de løsninger, eleverne kan finde på, når tænkningen/kreativiteten skal udfoldes i KAH ("tænkehatten"), oftest IKKE kunne nå et særligt højt fagligt niveau).



Hvem skal finde på disse elaboreringer og analogier – læreren eller eleverne? I første omgang bliver det nok nødt til at være læreren, idet metoden kræver en ret stor faglig viden og pædagogisk indsigt. Men eleverne kan med fordel bruge kunstig intelligens (AI) – er min erfaring – idet AI kan være forbavsende god til at forklare ting med inddragelse af gode elaboreringer og analogier – hvis eleverne forstår at promte rigtigt. Det skal de lære først!

En generel prompt kunne fx lyde: "Du er nu ekspertlærer i _____ (skriv faget), og jeg er en gymnasieelev, som har svært ved at forstå _____ (beskriv den proces, teori eller lignende, du har svært ved at forstå). Forklar det for mig – på forskellige pædagogiske måder - ved fx at ved at bruge elaboreringer og analogier."

Dybere udspørgen (eng. *elaborative interrogation*)/tænk dybere & sokratiske samtale med en kunstig intelligens/AI.

Man stiller "hv-spørgsmål" til materialet (fx hvad sker/skete, hvordan sker/skete det, hvorfor sker/skete det, hvilken betydning får det/fik det, o. lign.). Man prøver på at genkalde sig svarene fra den tekst, man har læst ("tester hukommelsen") eller slå de svar op i teksten, man har glemt. Dvs. metoden inddrager også aktiv genkaldelse/overhøring (se senere).



Et eksempel fra historie. Man har læst en tekst om Japanernes angreb på Pearl Harbor under WWII, og der stilles nu en lang række spørgsmål til teksten, som læseren skal besvare - for at forstå teksten dybere. Fx hvornår og hvordan skete angrebet? Hvorfor skete angrebet? Hvad var resultatet af denne historiske begivenhed? Osv., osv. Efterhånden får man en række aha oplevelser. Dvs. detaljerne bag Pearl Harbor angrebet begynder at give mening - man kan selvstændigt formulere svar. Dvs. metoden inddrager også generativ læring (se senere). "Learn It – Link It".

Hvem skal stille spørgsmålene til undervisningsmaterialet? Det bør materialet jo gøre eller læreren. Men der kan være megen god læring i, at eleverne lærer at stille spørgsmål til teksten – men de fleste elever skal nok lære dette først. Heldigvis er lærebøgerne begyndt at inddrage arbejds spørgsmål til teksten. Det var også på tide!

Alternativt kan eleverne forsøge sig frem med at lade AI (kunstig intelligens) stille spørgsmål til teksten. Igen: Hvis eleverne forstår at promte rigtigt. Det



skal de lære først! Et nøgleord i denne forbindelse, er sokratisk samtale, hvor AI indgår i en faglig dialog med eleven. I stedet for bare at bede AI om at forklare noget fagligt, via mange konkrete eksempler, elaboreringer og analogier, kan man bede AI om at stille spørgsmål - og give feedback, der tester, om man nu også har forstået det faglige – i dybden.

En generel prompt kunne lyde: "Du er nu ekspertlærer i _____ (skriv faget). Jeg er gymnasieelev, der har lidt svært ved _____ (beskriv emnet). Giv mig en introduktion til _____ (beskriv emnet, brug som mange faglige ord som muligt, idet AI så giver en mere præcis og målrettet introduktion). Brug meget gerne pædagogiske forklaringer – under introduktionen - med anvendelse af mange konkrete eksempler samt elaboreringer og analogier.

Efter introduktionen skal du indgå i en sokratisk samtale med mig, hvor du stiller spørgsmål og opgaver til mig angående _____ (beskriv emnet), og hvor du giver feedback på mine svar. Du skal ikke svare for mig, men afvente mine svar på dine spørgsmål og opgaver, og så give feedback, og så stille nye spørgsmål og opgaver til mig. Stil kun én opgave ad gangen."

Generativ læring (eng. *generation*, dvs. opgaveløsning, forklare og formulere noget selvstændigt, o. lign.). Man skaber (genererer) mere forståelse ved at bruge det man har læst aktivt ved opgaveløsning, eller man prøver at forklare/formulere tingene med egne ord. I matematik, kemi, fysik er der talrige opgaver og arbejdsopgaver efter hvert kapitel i lærebøgerne. Besvarelse af disse opgaver/spørgsmål er afgørende for forståelsen af teksten. Tror mange andre fag kan lære af disse fags gode traditioner.

NB! Når man løser opgaver/besvarer spørgsmål er det vigtigt, at man prøver på – så meget som muligt – at frigøre sig fra undervisningsmaterialet, og så selvstændigt løser opgaver og besvarer spørgsmål. Hvis der i en kemibog er et eksempel som forklarer, hvordan en given opgavetype løses, skal man først nærlæse og forstå eksemplet. Dernæst skal man dække eksemplet til, hvorefter man via mentale anstrengelser prøver på selv at løse opgaver, der indeholder samme type af tænkning som i eksemplet (igen er aktiv genkaldelse/overhøring i spil, se senere). Hvis man følger eksemplet i bogen slavisk, er der for lidt mental anstrengelse. Mental anstrengelse er strengt nødvendigt for at "Learn It – Link It" kan lykkes, skrives der i bogen ***Uncommon Sense Teaching***. Dannelse af neurale netværk i langtidshukommelsen kræver "sved på panden"!



Et eksempel på det "at forklare/formulere noget med egne ord". I biologi indeholder lærebøgerne mange figurer, som illustrer forskellige biologiske processer og fænomener. Efter at have læst bogens forklaring, skal man selvstændigt prøve på at forklare figuren - ud fra hukommelsen. Eleverne kan i timen efter tur – forklare biologien i figuren for hinanden – uden at de læser op fra bogens forklaringer. Metoden benytter sig derfor også af aktiv genkaldelse/overhøring (forklares senere).

I forhold til brug af kunstig intelligens i forbindelse med generativ læring, ligger dette tæt op ad det, jeg beskrev under brug af AI til sokratisk samtale. Men her vil jeg foreslå, at tingene vendes på hovedet. Altså at man, som elev, først selv formulerer nogle faglige tanker om et givet emne eller en opgave – og så derefter – beder AI om at give feedback og starte en sokratisk samtale.



En prompt kunne lyde: "Du er nu ekspertlærer i _____ (beskriv faget). Jeg er gymnasieelev, der har lidt svært ved _____ (beskriv emnet, upload spørgsmålet/opgaven). Jeg har lavet dette svar til spørgsmålet/opgaven:

(beskriv eller upload svaret). Giv mig feedback på mit svar på spørgsmålet/opgaven. Herefter skal du indgå i

en sokratisk samtale med mig, hvor du stiller nye spørgsmål og opgaver til mig, så det sikres, at jeg har forstået emnet, som spørgsmålet eller opgaven handlede om, i dybden. Du skal ikke svare for mig, men afvente mine svar på opfølgende dine spørgsmål og opgaver, og så give feedback, og dernæst stille nye spørgsmål og nye opgaver til mig, der tester min forståelse af emnet. Stil kun én opgave ad gangen.”



I debatten om AI i uddannelsessystemet argumenterer nogle for, at eleverne kun skal bruge AI, HVIS de kan vurdere om AI-outputtet er fagligt korrekt - da kunstig intelligens kan hallucinere, og give forkerte oplysninger og svar. Mit svar: Det kan kun de dygtigste elever – hvad så med alle de andre? Når eleverne ikke kan få hjælp til det faglige, på anden vis end via AI – fx når de arbejder hjemme med lektier eller opgaver - så er det meget

bedre, at de får AI hjælp - og en sjælden gang - får leveret forkerte svar fra AI. Alternativet er, at de ingen hjælp får. Lad os sige, eleven får et korrekt svar fra AI – 9 gange ud af 10. Så er eleven jo blevet væsentlig klogere, end hvis AI ikke var til rådighed, som en elektronisk hjælpelærer.

Dobbelt indkodning (arbejde med billeder, ord og håndtegninger)¹². At eleverne fx forklarer biologien, som gemmer sig i en figur, benytter sig af dobbelt



indkodning. Det aktiverer større områder af hjernen. Endnu bedre: Man lader eleverne lave små hånd tegnede illustrationer til det, de læser. Det kan også være, at de laver deres egne hånd tegnede¹³ udgaver af bogens figurer/illustrationer – ud fra hukommelsen (det er igen

aktiv genkaldelse/overhøring som inddrages) – samtidigt med at de forklarer det, de tegner (sætter ord på). Igen: "Learn It – Link It" er i spil i hjernen.



Erindringen/hukommelsen af det materiale/stof man arbejder med kan øges ved brug af aktiv genkaldelse/overhøring ("genkaldelsesøvelser"), Cornell-noter (split-noter), husketeknikker, genbesøge materialet/repetition via aktiv genkaldelse/fordelingsprincippet og sammenblandingssprincippet samt gestik (det at få kroppen med i læreprocessen). Uddybes i det følgende.



Aktiv genkaldelse/overhøring ("genkaldelsesøvelser") (eng. *retrieval practice*). Når man overhører sig selv, og prøver at besvare noget ud fra hukommelsen - og øver sig, indtil man umiddelbart kan huske tingene - så genaktiveres hukommelsessporene i hjernen, hvilket fører til bedre hukommelse og faktisk også bedre brug af viden. "Learn It – Link It" sker, når vi anstrenger med at trække informationer ud af hukommelsen!

En anden fordel ved aktiv genkaldelse er, at man bliver klar over, hvad man kan huske, og ikke kan huske, og dermed får klargjort, hvad man skal øve sig mere i. En tredje fordel ved aktiv genkalde er, at metoden ofte gør elever mindre nervøse for at gå til prøver/eksamen. Formentlig fordi, der ligger en stor tryk i, at man har fået klarhed over, hvad man kan huske og ikke kan huske, og at man har øvet sig ekstra i det, man var mindre god til, indtil man bare kan det. Den formentlig mest benyttede metode til eksamenslæsning – nemlig at læse den samme tekst igen og igen ("genlæsning"), giver ikke denne klarhed. Man kan genkende materialet, når man læser teksten igen – men

¹² Retrieval practice - og dobbelt indkodningsfiguren er taget fra: <https://www.learningscientists.org/downloadable-materials>

¹³ Kilde til hånden, der tegner: <https://creazilla.com/da/media/clipart/7766477/handtegning>

man ved jo ikke, om man kan huske det væsentligste indhold?! Igen: Prøver og eksamener er primært en test af hukommelsen.

Cornell-note-skrivning ("splitnotater") og indlæring af noter via aktiv genkaldelse/overhøring.

Emne:	
Spørgsmål	SVAR

Noterne er indrettet således: Et hoved hvor man skriver en dato og emneoverskrift. En smal venstre kolonne, hvor man laver korte quizspørgsmål eller stikord, som man kan bruge til at teste, om man kan huske svarene/noternes indhold. Svarene/indholdet skriver man i den bredere højre kolonne. Dæk højre kolonne til, så man ikke kan se svarene - og test dig selv (eller hinanden) ud fra quizspørgsmålene /stikordene i venstre kolonne, indtil man kan huske indholdet (dvs. brug aktiv genkaldelse).

Jeg laver altid mine tavlenoter på denne måde, og arbejder ihærdigt på at få mine elever til at tage Cornell-noter. Erfaring viser, at mange studerende laver gode noter, men for mange kan ikke huske, hvad der står i noterne. Blandt andet fordi noterne er indrettet, så de kun kan bruges til genlæsning - og genlæsning stimulerer ikke dannelse af langtidshukommelse i tilstrækkelig grad. "Learn It – Link It".



Det er oplagt, at lade AI generere quiz-spørgsmål til eleverne, som tester, om de kan huske fagenes mest centrale elementer – spørgsmål som klargør, hvad eleverne er nødt til at øve sig mere i.

Husketeknikker. Kort fortalt så skaber husketeknikker forbindelser mellem det nye man skal huske, og noget man allerede husker, - og giver flere ledetråde til at genkalde information fra hukommelsen. Husketeknikker prøver at tilføje struktur, mønster og mening til det man skal huske, hvorved det huskes bedre, fx via ordspil og remser. Husketeknikker er i familie med elaborering og analogier. "Learn It – Link It".



Eksempler på indlæring af engelske glosser via "**sproglig association**": - "fizzy" betyder **sodavand**. Tænk på, at du trækker en rystet sodavand op, og derfor fiser den ud over det hele (fizzy lyder som fiser), - "hive" betyder **bistade**. Tænk på, at hvis du hiver i bien, så stikker den dig!



Eksempel fra fysik: Remsen "**Elefantens mor cykler trekantede ture**" kan bruges til at huske energiformlen fra fysik:

E_{tilført} = **m** gange **c** gange **ΔT** = massen af vandet gange **c** (vands specifikke varmekapacitet) gange **ΔT** (vandets temperaturændring)¹⁴.

Eksempler fra biologi:

Ribosom? Er cellens små proteinfabrikker, (huskeremser: "**ribosomer danner ribbens-steg-kød-protein**", eller "**ribbet mave-muskel-protein**").

¹⁴ Huskeremsen er lånt fra Lasse Seidelin Bendtsen, fysik- og astronomilærer, der også arbejder med indlæring og hukommelse.

Vakuole? Er plantecellens vandlager som gør, at cellen får sin spændstige form (huskeremse: *Ole vander sin plante, tænk: "Vande-ku-Ole = vakuole"*).

Huskeremser: "**Arterier** leder blodet **Afsted** fra hjertet. Via **Vener Vender** blodet tilbage til hjertet".

Få det til at ligne noget kendt metoden ("form association") – fx ligner **vakuolen** (vandlageret) i plantecellen en lille sø. **Æggeledertragten** i kvindens underliv ligner fingre, som tager fat i ægget (og smider det ud i æggelederen).

Eksempler fra kemi. Ole G. Terney og jeg har lavet et utal af forslag til husketeknikker i **Noter til kemi C** bogen: <https://bogshop.bod.dk/noter-til-kemi-c-jan-ivan-hansen-9788743034919>

Husketeknikker skal kun bruges til ting, man skal kunne, men som man bare ikke kan få banket ind i knolden på anden vis. Pas på med, at det ikke tager overhånd.

Hvem skal finde på husketeknikkerne? I første omgang er det læreren, som skal undervise eleverne i de ret simple grundprincipper. Når eleverne har forstået principperne, kan de med fordel finde på deres egne huskereglere. Det er en sjov og kreativ proces, som eleverne kan have stor glæde af at dele med hinanden.

Det er oplagt, at lade AI være kreativ, og komme med forslag til husketeknikker. Min erfaring er bare, at det er AI p.t. ikke særlig god til. Men det kan AI trænes til. Jeg har lavet en beta-version af en perplexity.ai HUSKE agent (undervisningsassistent). Den har jeg har dybdpromptet - og jeg har fodret den med en masse eksempler på husketeknikker i kemi og biologi (bl.a. fra bøger om hukommelsesunderstøttende metoder, jeg har skrevet sammen med biologen og videnskabsjournalisten, Ole G. Terney). – Og AI agenten er klart blevet bedre af denne træning – ikke perfekt – men bedre.

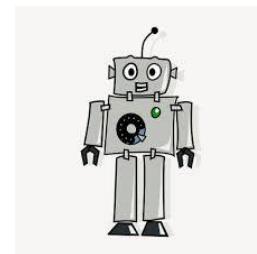


Genbesøg materialet for at øge forståelsen og erindringen ved brug af gentagne repetitioner (brug aktiv genkaldelse/overhøring) fordelt over tid ("fordelingsprincippet" eller på eng. *spaced repetition*¹⁵).

Genbesøg og repetitioner klargør behovet for om man skal arbejde mere med stoffet, og bruger husketeknikker. Fordi man jo så finder ud af, hvad man kan huske og har glemt. Grundprincippet er, at der skal ske lidt glemsel, inden man repeterer første gang, men ikke så meget at alt er glemt, og læreprocessen skal starte helt forfra. Fx efter 1 til 2 dage. - Og herefter skal repetitionerne ligge med stigende tidsintervaller¹⁶. "Learn It – Link It".

Man skal dog IKKE falde i "robotfælden", og tro at man skal huske alt. Hav fokus på at huske det vigtigste. Vi er mennesker, ikke robotter!

Læreren må forsøge at genbesøge de mest centrale dele af materialet, der skal læres, i løbet af et skoleår, og repetere. Resten af repetitionen må ligge i læseferien.



¹⁵ Kilde til spaced repetition og interleaving figurerne: <https://www.learningscientists.org/downloadable-materials>

¹⁶ Forklaringen er formentlig af søvn og mental anstrengelse (med at genkalde informationer) forstærker dannelsen af langtidshukommelse, idet disse proteinsyntesebaserede processer kræver både tid og gentagen stimulering.

Sammenblanding (eng. interleaving). Forskning viser, at hvis man fx øver den samme type matematikopgaver igen og igen (kaldes "cramming"¹⁷ på engelsk eller at terpe på dansk), så klarer man sig bedre ved en test, som gives umiddelbart efter indlæringen, end hvis man sammenblander forskellige opgavetyper. Men hvis man tager en test noget senere, så klarer de elever sig bedst, som har lavet sammenblanding. Sammenblanding er bedre for forståelsen og langtidshukommelsen – formentlig fordi, at man bliver bedre til at skelne mellem de forskellige emner og opgavetyper, og tvinges til at repetere dem og de forskellige tankegange. Løsning af gamle eksamenssæt vil være en god måde, hvorpå man kan anvende sammenblandingsprincippet. "Learn It – Link It".



Gestik – læring med kroppen forrest (eng. "embodied cognition"). Den danske læge og hjerneforsker, Kjeld Fredens (og andre, fx neurobiologen og kognitionsforskeren Theresa Schilhab), argumenterer for at kroppen skal meget mere med i læreprocesserne i skolen. Eleverne sidder for meget ned på deres bagdele, og er for passive. De skal udfordres fagligt, og aktiveres både kognitivt og kropsligt. Kroppen og hjernen skal aktiveres i et bedre samspil. Teorien om "embodied cognition" understreger, at kroppen altid indgår i læring, erindringer og erkendelse, idet den skaber sanseerfaringer og udfører handlinger under læringsprocessen.

Hvordan dette systematisk overføres til teoretiske fag, er dog ikke altid oplagt! Men her følger nogle eksempler på det at sætte kroppen i spil ved læreprocesser - især inspireret af Kjeld Fredens bog, *Lærings med kroppen forrest*¹⁸: a) når man skal præstere noget vigtigt (fx ved mundtlig eksamen, præsentationer, taler og lignende), kan man, i minutterne inden, stille sig i en magtfuld positur (power positur), for at i det øjeblik øge kroppens indhold af testosteron, og sænke mængden af kortisol. Man bliver mere modig og mindre nervøs – b) man tæller på fingrene inden ens matematiske abstraktionsevne har udviklet sig – c) tage noter i hånden, da håndskrift ofte er bedre for hukommelsen end at skrive på et tastatur, d) lave håndtegninger til noget, man skal forstå/huske, og sætte egne forklaringer på, e) udføre forsøg i laboratoriet, hvor alle elever er aktive med at få fingrene "ned i bolledejen" – frem for bare at se passivt på, at andre elever i gruppen er aktive med reagensglas m.m.

Kroppen har altså en overraskende stor betydning for skabelse af langtidshukommelse – også set ift. boglig læring. Fx ved indlæring af sprog og udvikling af ordforråd¹⁹. Det fører os frem til gestik. Gestik er kropsbevægelser, som en person ledsager sin tale eller kunstneriske optræden med, og som understreger vedkommendes følelser og tanker. Gestik er nonverbal kommunikation. Hvis man fx i tysk skal lære at "Hände hoch" betyder "hænderne op", så rækker man begge hænder i vejret, imens man højt siger "Hände hoch", gentagne gange – for at huske det bedre. I min beta-version af perplexity.ai HUSKE agenten, har jeg også indføjet gestik som et princip, agenten arbejder ud fra, når den skal hjælpe elever med at huske kemi og biologi bedre. Ligeledes har jeg lavet en beta-version af en perplexity.ai FORSTÅ agent, der skal hjælpe eleverne med at forstå kemi og biologi bedre. Agenterne bygger på de principper, der er beskrevet i denne artikel.

¹⁷ Danske lærebøger bruger typisk kun "cramming", og ikke "interleaving", idet der efter hvert kapitel i er opgaver (opgaver ses ikke i alle lærebøger, desværre), som relaterer sig til kapitlets emne, men ingen af bogens andre kapitler og emner.

¹⁸ Kjeld Fredens, *Læring med kroppen forrest*, Hans Reitzlers forlag, 2018.

¹⁹ Lidt net-kilder: [artikel 0.pdf](#) og <https://gymnasieskolen.dk/articles/elever-skal-laere-skabe-viden/>

Hvordan skal lærerne (og eleverne) dog få tid til at arbejde så grundigt med tingene, som min artikel beskriver? – Og hvilke andre problemer er der ved de indlæringsforstærkende metoder, jeg har beskrevet?

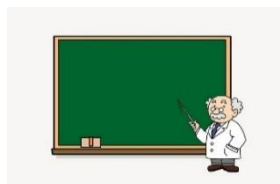


Det er ikke altid så nemt at arbejde med stoffet efter de beskrevne principper - for pensumpresset er stort set ift. det antal undervisningstimer, der er til rådighed i gymnasieskolen. Mange elever laver IKKE lektier eller laver dem for overfladisk, af forskellige årsager²⁰. Mange udfordringer. Men man kan som lærer prøve at skære ned på den tid, man snakker i timerne, så der er mere tid til elevernes aktive læreprocesser. For eleverne lærer ikke nok af at være passive lyttere til et langt læreforedrag. En typisk

model for en teoritime hos mig følger ofte denne model – en slags **"flipped classroom"**:

Jeg giver næsten altid lektier for²¹ – læsestof, opgaver eller en kombination.

1) I starten af timen finder de elever, der har lavet lektier, sammen i par²² og arbejder med lektien; fx ved at snakke lektien igennem, og hjælpe hinanden med at forstå tingene, overhøre hinanden på skift (tester hukommelsen) - og øve sig mere i det, man har svært ved at huske. Imens laver de uforberedte elever lektierne i timerne.



2) Dernæst er der fælles opsamling på svære ting i lektierne²³, hvor det også er tilladt for eleverne at stille "dumme spørgsmål"²⁴ til læreren²⁵. Elever, der vil prøve på at forklare de svære ting, bidrager også med svar.

Lektien gennemgås ikke fra A til Z. Kun det vanskeligste berøres – ellers er der ikke tid til elevernes aktive og selvstændige arbejde med materialet. Det er en benhård

prioritering fra min side.

3) Eleverne arbejder sammen om at løse opgaver/besvare arbejdsspørgsmål i den sidste del af timen eller de arbejder med repetition via aktiv genkaldelse, hvor de tester hinandens hukommelse, og øver sig mere i ting, der er særligt vigtige at kunne forklare og huske.

Min rolle som lærer under flipped classroom? Jeg er tovholder under den fælles opsamling, hvor jeg også laver korte Cornell-noter på tavlen. Desuden går jeg rundt og lytter - og taler fagligt med eleverne under deres pararbejde. Nogle gange tager jeg korte faglige samtaler med elever – én ad gangen – i et "privat" hjørne af klassen. Især taler jeg med nogle af de mere tavse/tilbageholdende elever. For at de får lejlighed til at vise, at de faktisk godt kan noget fagligt – uden at hele klassen lytter med. Mange elever er bange for at sige noget foran hele klassen.

Problemerne? Der er ikke tid til at arbejde med hele pensummet, efter de principper, jeg har beskrevet i artiklen. Dertil er læreplanerne i gymnasiet for omfattende. MEN det er mit håb, at vi i timerne når at træne de vigtigste læringsmetoder så meget, at eleverne tager dem til sig, og aktivt bruger dem under forberedelse af lektier (når de har tid) samt ved forberedelse til prøver og eksamener.

²⁰ <https://gymnasieskolen.dk/articles/gymnasieelever-springer-lektierne-over/>

²¹ Kilde til lave lektier figuren: <https://vectorportal.com/vector/schoolboy-doing-homework/35556>

²² Kilde til pararbejde figuren: <https://www.flickr.com/photos/jurgenappelo/10867415366>

²³ Kilde til læreren gennemgår ting ved tavlen figuren: <https://www.rawpixel.com/image/6754227/vector-frame-public-domain-green>

²⁴ Det gælder om at skabe psykologisk tryghed, og en reel oplevelse af, at timerne mest er til for at lære noget i – og ikke kun er overhøring og bedømmelse.

Bogbunkefiguren nederst på side 9 er taget fra <https://www.wannapik.com/vectors/78246>

²⁵ Denne opsamling kan i visse klasser/hold tage lang tid, fordi mange elever er fagligt udfordret – og så begynder min timemodel at fejle. Der er så for lidt tid til elevernes selvstændige arbejde med stoffet. Det er ikke altid nemt at undervise.

Læringshjulet metoder skal trænes meget mere med eleverne end man lige regner med. Gamle vaner er svære at aflære. Fx har mange elever vanskeligt ved at slippe genlæsning af tekster (for at huske dem bedre) eller afskrivning af lærebøger. Som lærer skal man være vedholdende med at italesætte og træne mere effektive metoder med eleverne – ellers tager de dem ikke til sig.

Til tider kan der være en del modstand, fra elevernes side, i forhold til at ville arbejde efter de beskrevne principper i timerne. Bl.a. fordi de er vant til, at nogle lærere, nok især i naturfagene, gennemgår stoffet på tavlen – fra A til Z - imens eleverne tager noter/skriver tavlen af, og stiller opklarende spørgsmål til læreren. Det kan også være en rigtig god metode, til at skabe en umiddelbar forståelse af stoffet, fordi mange lærere er knalddygtige fagligt, og er superpædagogiske. Problemet er, at tiden i timerne kun kan bruges én gang. En A til Z tavlegennemgang levner for lidt tid til, at eleverne selvstændigt arbejder med stoffet (fx med opgaver og arbejds spørgsmål) – for slet ikke at tale om, at eleverne får tid til at arbejde med aktiv genkaldelse, for at de kan placere de vigtigste faglige pointer i langtidshukommelsen. Typiske og negative elevkommentarer til "mine" studiemetoder²⁶ er fx "men det har vi jo haft tidligere, hvorfor skal vi arbejde med det igen?" Eller "jeg har forstået det, hvorfor skal jeg så repetere det?" Eller "jeg har altså altid skrevet bøgerne af!" Eller "Husketeknikker er da besværligt, for nu skal jeg jo bare huske endnu mere – både det faglige og husketeknikken". Alle disse kommentarer viser bare, at for mange elever ikke ved ret meget om basale læreprocesser. De ved sjældent ret meget om hukommelse.

Jeg går selvfølgelig i dialog med eleverne. Og argumenterer fx med, at de ikke kan bruge "skrive-bogen-af-metoden" på universitetet, fordi pensummet er alt for stort. De må prioritere, hvad de vil lære, og fx bruge tiden på aktiv genkaldelse af de vigtigste faglige pointer, for at bestå de mange eksamener.

Der er dog også rigtig mange positive elevreaktioner som fx "hvorfor er vi aldrig før blevet undervist i at huske – for dine metoder virker jo supergodt!" Eller "Cornell-noter er supergodt" Eller "nu forstår jeg endelig, hvordan enzymer virker, efter jeg har læst din "pizza-bager-analogi". [P.t. har jeg få erfaringer med elevers brug af mine perplexity.ai agenter (ai-undervisningsassistenter), og kan ikke skrive noget om det endnu].

Hvis elevernes grundlæggende faglighed fra grundskolen er for ringe – og det er desværre for ofte situationen - så er det for alvor op ad bakke. Fordi så har de meget vanskeligt ved at forstå det akademiske sprog, som gymnasiebøgerne er skrevet i - da forståelsen primært skal bygge på den viden, der ligger i elevens langtidshukommelse ("arkivskabet"), som arbejdshukommelsen ("tænkehatten") skal trække på, under forståelsesarbejdet. Denne problematik beskriver **læseforskeren Jesper Bremholm** meget præcist på side 12-13 i tidsskriftet Gymnasieforskning:

<https://www.gymnasieforskning.dk/magasin/magasin-30>.²⁷ Når dette er situationen, er man som lærer ofte tvunget til at bruge alt for meget tid på at udlægge og forklare teksten for eleverne – og så bryder min "flipped classroom" model sammen. Undervisning er ofte ikke så nemt!



Det fører os over i min **udgangsreplik om danske lærebøger**. Danske lærebøger er generelt gode, bl.a. fordi de er skrevet af superkompetente lærere. Men jeg tror på, at bøgerne kan blive endnu bedre, hvis Læringshjulets principper systematisk indbygges i bøgerne. Hvordan generativ AI kan inddrages i lærebøgerne – som en elektronisk hjælpelærer, der er til rådighed for eleverne 24-7, er et meget vigtigt område at få afdækket - i sammen forbindelse. For en sådan

²⁶ "Mine" er i citationstegn, fordi metoderne er jo beskrevet af især amerikanske kognitive forskere (samt vores egen Sten Clod Poulsen) – så det er ikke mine metoder.

²⁷ Selv om jeg synes, at Jesper Bremholms artikel er fremragende, så savner jeg (igen) et hukommelsesperspektiv i de løsninger, som Jesper skitserer.

elektronisk hjælpelærer kan måske til dels afhjælpe nogle af de problemer, eleverne bøvler med. **[Jeg har lavet et A3-papir, hvor jeg giver nogle bud på, hvordan lærebøgerne kan forbedres, og AI kan integreres].**

I næste udgave af Læringshjulet vil jeg bl.a. komme ind på betydningen af pauser og hjernens "grundtilstandsnetværk".